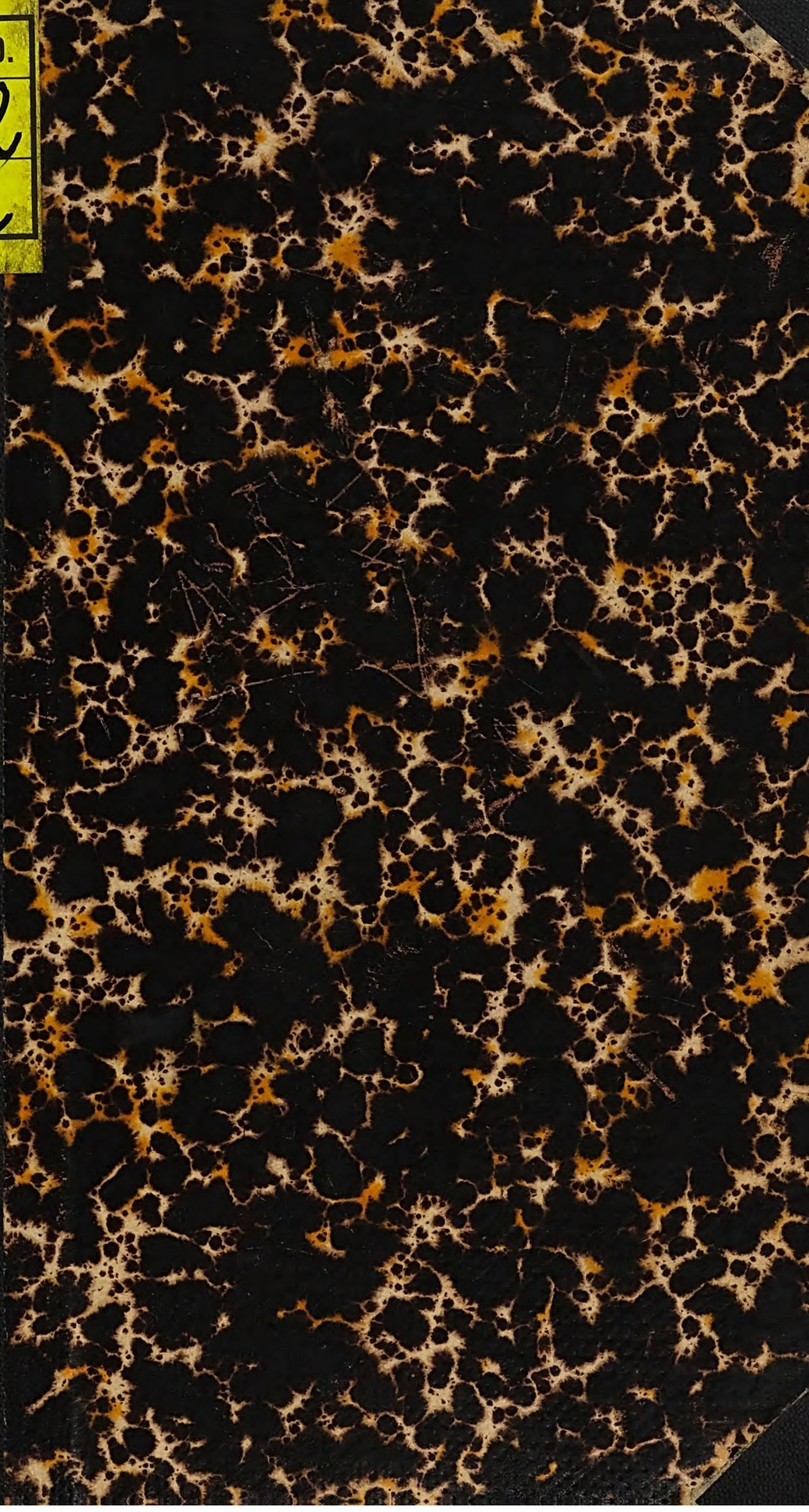


Phys. sp.

222

sd



Phys. Sp.
222 sd

Forbes

Elektrische Wechselströme
und
Unterbrochene Ströme.

Von
Professor George Forbes.

Nach drei in der Royal Institution zu London
gehaltenen Vorträgen.

Deutsch von
Dr. J. Kollert.



Mit 38 Figuren im Text.

Leipzig.

Verlagsbuchhandlung von Quandt & Händel.

1896.

6972

BIBLIOTHECA
REGIA
MUSEI HIST. NAT.

In diesen Vorträgen hat es sich der Verfasser zur Aufgabe gemacht, die sehr complicirten Vorgänge welche in mit grosser Kapazität oder Selbstinduktion oder mit beiden gleichzeitig behafteten Leitern auftreten, wenn kurz dauernde oder Wechselströme durch sie hindurchgehen, vermittelst einfacher mechanischer Analogien dem Verständniss näher zu bringen. Es werden so der Reihe nach behandelt: die Erscheinungen in unterseeischen Kabeln, die Wirkungen der Selbstinduktion bei raschen Stromunterbrechungen und diejenigen der Selbstinduktion und der gegenseitigen Induktion bei Wechselströmen, die Versuche von Elihu Thomson an mit Wechselstrom gespeisten Elektromagneten und die Hertz-Tesla'schen Versuche mit Wechselströmen von sehr hoher Wechselzahl. Ueberall dürfte es dem Schöpfer der Entwürfe für den elektrischen Theil der grossartigen Kraftübertragungsanlagen am Niagarafall gelungen sein, durch Herbeiziehung treffender mechanischer Analogien die genannten Vorgänge in einer neuen, das Verständniss wesentlich fördernden Weise darzustellen.

Elektrische Wechselströme
und
Unterbrochene Ströme.

Von
Professor George Forbes.

Nach drei in der Royal Institution zu London
gehaltenen Vorträgen.

Deutsch von
Dr. J. Kollert.



Mit 38 Figuren im Text.

Leipzig.

Verlagsbuchhandlung von Quandt & Händel.

1896.



Vorwort.

Das vorliegende Buch ist entstanden aus einem Cyclus von drei in der Royal Institution von Grossbritannien im Jahre 1895 gehaltenen Vorträgen. Der durchgesehene und corrigierte Wortlaut derselben bildet den Inhalt des Buches. Die Vorlesungen waren ursprünglich für ein gebildetes, aber mit den elektrischen Wissenschaften nicht besonders vertrautes Publikum berechnet; deshalb sind im allgemeinen technische Ausdrücke vermieden worden; die Form des Vortrags ist im Buche beibehalten worden. Es mag besonders die Aufmerksamkeit der Telegraphenbeamten auf das auf Grund der mechanischen Torsion entworfene Modell eines unterseeischen Kabels hingelenkt werden, welches im ersten und zweiten Vortrag beschrieben ist; dasselbe veranschaulicht die mannigfaltigen Erscheinungen, welche beim Arbeiten mit einem wirklichen Kabel beobachtet werden, in einer neuen und bemerkenswerth genauen Weise. Ich glaube aber, dass manche von

den mechanischen Analogien, welche in diesen Vorträgen durchgeführt werden, und welche einen der Hauptzüge derselben bildeten, auch anderweit Interesse finden werden.

Zu besonderem Dank bin ich Herrn H. E. Mitchell für die Unterstützung verpflichtet, die er mir bei der Vorbereitung dieser Vorträge für den Druck geleistet hat.

London.

George Forbes.

Inhalt.

	Seite
Einleitung	1
Analogien für die Fortpflanzung der Elektrizität . . .	3
Leicht und weniger leicht begreifliche Thatsachen aus der Mechanik	6
Der Faraday'sche Entladungsversuch	12
Analogon eines elektrischen Stromes	12
Kapazität	14
Mechanische Analogien	18
Unterseeische Kabel	22
Gangbares, auf der Torsion beruhendes Modell eines unter- seeischen Kabels	30
Folgerungen aus den mechanischen Analogien	33
Vergleich zwischen den elektrischen Einheiten und ihren mechanischen Analogien	37
Die Örsted'sche Entdeckung und Folgerungen, welche daraus zu ziehen gewesen wären	39
Faraday und die Induktion	40
Selbstinduktion und Trägheit	42
Anwendung der vorangegangenen Versuche auf technische Fragen	44
Gegenseitige Induktion	48
Clerk Maxwell's Modell zur Versinnlichung der gegen- seitigen Induktion	51
Gefahren beim plötzlichen Unterbrechen von Stromkreisen mit grosser Selbstinduktion	54

	Seite
Transformator bei offenem Kreis. — Verzögerung des Stromes	60
Praktischer Nutzen von Analogien	69
Weitere Wechselstromerscheinungen	71
Induktionserscheinungen bei sehr hoher Wechselzahl und elektromotorischer Kraft	73
Leuchten einer Glühlampe durch den Strom, welcher durch den Körper eines Menschen geht	75
Oberflächenschicht-Widerstand	79
Elektrische Resonanz	88
Elektrische Schwingungen	94
Versuch von Lord Armstrong	97

Erster Vortrag.

Einleitung.

Als ich aufgefordert wurde, an dieser Stelle einige Vorträge zu halten, fragte ich, über welchen Gegenstand ich sprechen sollte; man sagte mir, über irgend einen physikalischen Gegenstand. Ich weiss nämlich wohl, dass man sich in der Royal Institution mehr mit den Prinzipien, als mit den Anwendungen der Wissenschaften zu beschäftigen pflegt.

Nun hatte ich im Verlaufe der Arbeiten, mit denen ich in den letzten Jahren beschäftigt war, Veranlassung gefunden, mich nach einigen einfachen Veranschaulichungen umzusehen, welche dazu dienen sollten, mir selbst und anderen einige etwas schwer verständliche elektrische Erscheinungen klarer zu machen, wie sie besonders beim Gebrauch von Wechselströmen und unterbrochenen Strömen auftreten; es gelang mir auch, eine Methode zu finden, auf mechanischem Wege analoge Erscheinungen hervorzurufen, wie sie in den verschiedenen Fällen der Fortpflanzung der Elektrizität auftreten, eine Methode, welche für mich selbst von so grossem Nutzen gewesen ist und welche mir die Aufgabe, auch anderen eine richtige Vorstellung von diesen merkwürdigen elektrischen

Wirkungen beizubringen, dermaassen erleichtert hat, dass ich glaubte, ich würde dieselbe sehr wohl in den gegenwärtigen Vorträgen mit behandeln dürfen.

Prof. Dewar sagte mir gestern, dass Sie von mir einen Vortrag über die Anlagen an den Niagarafällen*) erwarten würden, und dass Sie enttäuscht sein würden, wenn ich nicht darüber spräche. Ich muss sagen, ich kann nicht begreifen, wie man auf diesen Gedanken gekommen ist, und kann es nur bedauern, wenn ich jetzt manchem eine Enttäuschung bereite, indem ich einen andern Gegenstand ergreife. Ich kann indessen soviel sagen, dass die heutige Vorlesung, obwohl sie sich unmittelbar viel mehr mit der unterseeischen Kabeltelegraphie beschäftigt, doch mit den Schöpfungen an den Niagarafällen in einem gewissen Zusammenhange steht. Die beiden nächsten werden sich fast ganz mit Problemen beschäftigen, deren Lösung als eine Frucht der Nutzbarmachung dieser gewaltigen Fälle und der Vertheilung ihrer Arbeitsleistung in der Umgegend sich ergeben hat, sodass ich zuversichtlich hoffe, der ganze Cyklus meiner Vorträge werde auch denjenigen keine völlige Enttäuschung bringen, welche etwas anderes erwartet haben.

Bevor ich mit meinem Gegenstand beginne, habe ich noch zu sagen, dass ich Ihnen heute und in den folgenden Vorlesungen eine ziemliche Anzahl von Versuchen vorzuführen haben werde, von denen ich nicht wünsche, dass Sie auch nur einen Augenblick glauben sollen, sie seien meine eigene Erfindung; viele derselben sind sehr überraschend,

*) Prof. Forbes hat bekanntlich die Entwürfe für den elektrischen Theil der grossartigen Kraftübertragungsanlagen an den Niagarafällen geliefert. D. Uebers.

sind aber nicht von mir, sondern nach mühevoller Arbeit von anderen aufgefunden worden. Ich erwähne insbesondere den Namen des Herrn Campbell Swinton, welcher uns eine Anzahl sehr hübscher Apparate zur Verfügung gestellt hat, deren mich zu bedienen ich wiederholt Gelegenheit haben werde. Auch andere Herren haben mich sehr unterstützt. Dr. Muirhead hat mir unschätzbare Dienste geleistet, indem er mir geholfen hat, die heutige Vorlesung anschaulich zu gestalten; durch seine Hülfe ist es mir möglich gemacht worden, Ihnen einige von den Erscheinungen vorzuführen, welche in den unterseeischen Kabeln auftreten. Dies ist ein Gegenstand, welcher bisher fast ganz in das Dunkel mathematischer Formeln eingehüllt gewesen ist; ich hoffe aber, es möge mir heute gelingen, die Behandlung dieses Gegenstandes dieser Schwierigkeiten zu entkleiden und die Erscheinungen, welche in den unterseeischen Kabeln sich zeigen, für Jedermann verständlich zu machen. Dies hoffe ich mittels eines gangbaren Modells zu erreichen, welches ich erfunden habe, und welches Dr. Muirhead für mich gebaut hat.

Analogien für die Fortpflanzung der Elektrizität.

Wenn wir von der Fortpflanzung elektrischer Ströme durch ein transatlantisches Kabel reden, so erinnern wir uns, dass auf der Aussenseite eines solchen, während die Elektrizität in dasselbe einströmt, eine elektrische Ladung inducirt wird: das Kabel ladet sich, und dieser Umstand verhindert die rasche Fortpflanzung des Stromes in demselben. Nun kann man ja ganz gut darüber in dieser Weise sich

ausdrücken, aber sehr klar wird die Sache dadurch nicht; dieselbe ist eben überhaupt schwer zu verstehen. Wir wissen nicht so recht, was wir unter „Elektrizität“ uns zu denken haben. Allemal wenn wir einer solchen Ausdrucksweise uns bedienen, sind wir versucht, nach einer mechanischen Analogie zu greifen, um durch eine solche den Vorgang für uns verständlich zu machen.

Zum Beispiel ist es bei der Behandlung der Fortpflanzung der Elektrizität zunächst allgemein üblich geworden, dem Gegenstand mit Hülfe der Analogie des Fliessens von Wasser durch Röhren beizukommen, und zwar ist das eine ganz vortreffliche Analogie. Der Druck des Wassers, welcher dasselbe vorwärts treibt, entspricht der elektromotorischen Kraft, die Geschwindigkeit, welche das Wasser in der Röhre erlangt, ist die Stromstärke, die Reibung in der Röhre endlich stellt den Widerstand des Leiters dar. Wenn Sie eine Röhre nehmen, welche einen geschlossenen Kreis bildet, und an einer Stelle eine Centrifugalpumpe anbringen, deren Arbeitsleistung zur Ueberwindung der Reibung in der Röhre verbraucht wird, haben Sie das Analogon zu einer Batterie, welche mit einer bestimmten elektromotorischen Kraft in einem geschlossenen Stromkreis mit einem bestimmten Widerstand einen elektrischen Strom hervorruft; dabei wächst und wächst die Geschwindigkeit des Wassers, bis die Gegenkraft, welche durch die Reibung in der Röhre verursacht wird, der treibenden Kraft in der Centrifugalpumpe, oder dem Druck des Wassers, gleich geworden ist. Das ist die übliche Analogie, welche für die allergewöhnlichsten elektrischen Erscheinungen angewendet wird. Wir könnten diese Analogie noch weiter ausdehnen, und könnten,

anstatt die Energie der Centrifugalpumpe zur Ueberwindung der Reibung in einer in ihrer ganzen Länge gleichförmigen Röhre aufzubrauchen, womit eine äquivalente Erwärmung der Leitung verbunden sein würde, ein Stück derselben durch ein ganz enges Rohrstück ersetzen. Dann würde die Energie fast ganz in diesem engen Rohrstück am entfernten Ende verbraucht werden. Dieser Fall ist analog dem Strom der Glühlampen hier im Saale. Die Centrifugalpumpe vertritt die Dynamomaschine in der Centrale, die Röhren, welche in sich zurücklaufen, sind die Drähte, welche von und nach der Centrale gehen, das enge Rohrstück am entfernten Ende, wo die Arbeitsleistung aufgebraucht wird, bildet das Analogon zu den Glühlampen. Anstatt ein solches enges Rohrstück an das Ende zu setzen, könnten wir auch einen kleinen Wassermotor, z. B. eine Turbine, nehmen und würden dann eine centrale Pumpe haben, von deren Arbeitsleistung ein gewisser Theil durch die Reibung in der Röhre verbraucht wird; der grössere Theil aber dient dazu, den Motor zu treiben, welcher seinerseits wieder nutzbare Arbeit verrichten kann. Dann haben wir eine Kraftquelle in einer Centralstation: die Dynamomaschine vertritt die Centrifugalpumpe, die Rohrleitung bilden die Drähte, in denen der Strom fliesst und welche ihm einen gewissen Widerstand entgegensetzen; der Elektromotor, welcher die Maschine treibt, entspricht der Turbine am entfernten Ende.

Wir haben hier eine sehr nützliche und einfache Analogie vor uns; wenn wir aber auf schwierigere Punkte kommen, hört dieselbe auf, ganz so leicht verständlich zu sein, obgleich sie in vielen Fällen gewiss recht gut ist. Ich denke jetzt nämlich an den Unterschied zwischen den gewöhn-

lichen Fällen, welche leicht zu verstehen sind, und solchen Fällen, bei denen dies weniger leicht ist. Bei den gewöhnlichen Arten der elektrischen Hausbeleuchtung, z. B. von einer Centrale aus, ist die Art der Fortleitung der Elektrizität verhältnissmässig einfach, und jedermann, der früher einmal mit einer galvanischen Batterie und Drähten gespielt hat, vermag mit einem Blick zu übersehen, was vorgeht, wenn man die Drähte erst mit der Dynamomaschine, dann mit den Lampen verbindet. Weiterhin aber, besonders beim Gebrauch von Wechselströmen, spielen noch andere Erscheinungen mit herein, welche nicht so leicht zu verstehen sind.

Leicht und weniger leicht begreifliche Beispiele aus der Mechanik.

Da ich, um die elektrischen Erscheinungen zu erklären, mechanische Analogien heran zu ziehen beabsichtige, darf ich hier wohl eine mechanische Analogie anführen, um Ihnen die Verschiedenartigkeit der Erscheinungen vor Augen zu führen, welche ich Ihnen klar zu machen wünsche. Es giebt viele mechanische Vorgänge, welche jedem vernünftigen Menschen vollkommen begreiflich sind, wenn er sie sich genauer ansieht. Wenn Sie einen eisernen Maassstab als Hebel nehmen, der am kurzen Arm ein schweres, am langen ein leichtes Gewicht trägt, so erscheint es Ihnen ganz natürlich, dass das schwere Gewicht durch das leichte getragen wird, ohne dass Sie dabei auf die mathematische Theorie der Erscheinung eingehen oder die Grössen und ihre gegenseitigen Verhältnisse messen; das Ergebniss ist ein für Jedermann leicht begreifliches. Wenn

ich einen Druck mit einer Schraubenpresse ausübe, so erzeuge ich mit einem sehr kleinen Druck und einer grossen Bewegung meiner Hand eine sehr kleine Abwärtsbewegung der Schraube, wobei aber ein sehr grosser Druck auf bei-

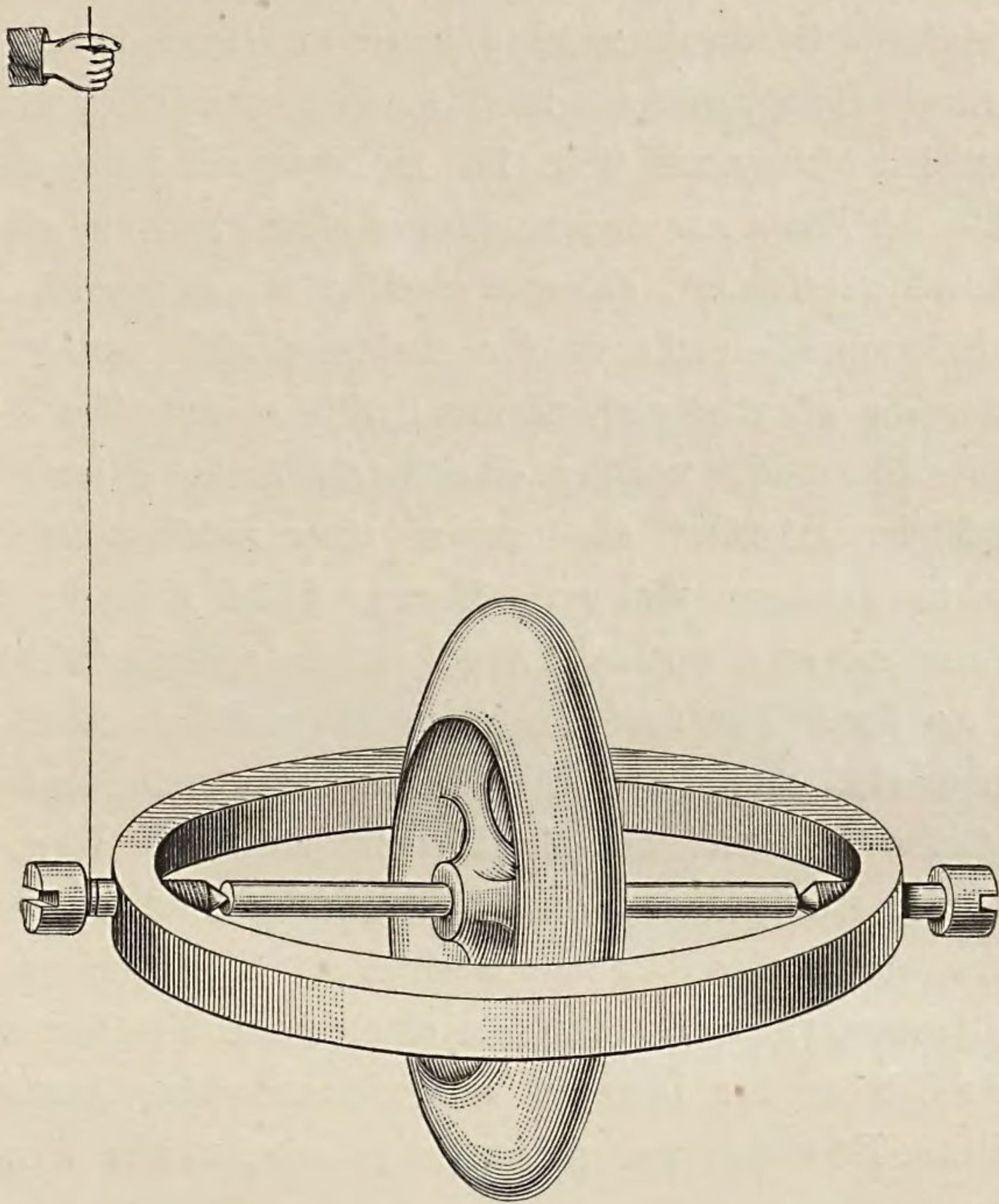


Fig. 1.

spielsweise ein Kopierbuch ausgeübt wird: das ist eine Umwandlung von mechanischer Energie, welche vollkommen begreiflich ist. Und so verhält es sich mit den verschiedenen einfachen Maschinen der Mechanik, dem Hebel, dem

Rad an der Welle, der Schraube — jede derselben ist vollkommen begreiflich.

Ich will Ihnen jetzt ein paar nicht ganz so leicht begreifliche Erscheinungen vorführen, und die erste, welche jedem von Ihnen zunächst in den Sinn kommen wird, bietet der einfache Gyrostat, welchen jeder von Ihnen kennt, den ich Ihnen aber vorführen möchte, weil er deutlich macht, worauf ich hinaus will (Fig. 1). In Bezug auf den Gyrostat möchte ich Ihnen nur sagen, dass es einige Zeit und einiges Nachdenken erfordert, ehe man einsieht, wie es zugeht, dass das Schwungrad nicht in der Richtung sich bewegt, in welcher die offenbar vorhandenen Kräfte es antreiben. Das ist ein Umstand, welcher eine beträchtliche Summe von Nachdenken erfordert, ehe man zu einer richtigen Schlussweise zu gelangen vermag. Warum dreht sich die Vorrichtung um eine vertikale Axe, und in welcher Richtung thut sie das? Das sind Dinge, welche nicht so leicht begreiflich sind, und es erfordert einen bedeutenden Aufwand von Gedankenarbeit, um sie klar zu machen. Wenn ich im Stande wäre, Ihnen eine mechanische Analogie vorzuführen, welche dieselben klar machte, würde das ein grosser Schritt vorwärts sein. Bei den elektrischen Erscheinungen glaube ich in der Lage zu sein, Ihnen einige Analogien zu diesen Erscheinungen geben zu können, welche ziemlich vollkommen sind.

Hier habe ich ferner eine Kette, welche mittels eines Elektromotors in Umschwung gesetzt wird (Fig. 2); bei dieser sind die Bewegungen, welche eintreten derartige, dass sie selbst für den in der Mechanik gut unterrichteten nicht unmittelbar begreiflich erscheinen. [Versuch.] Wenn ich

diese Kette nach mir hin ziehe, verhält sie sich ähnlich wie eine starre Stange. Wenn ich ihr eine Bewegung ertheile, so behält sie dieselbe bei; und wenn ich endlich die Kette um ein ziemliches Stück strecke, und lasse sie als-

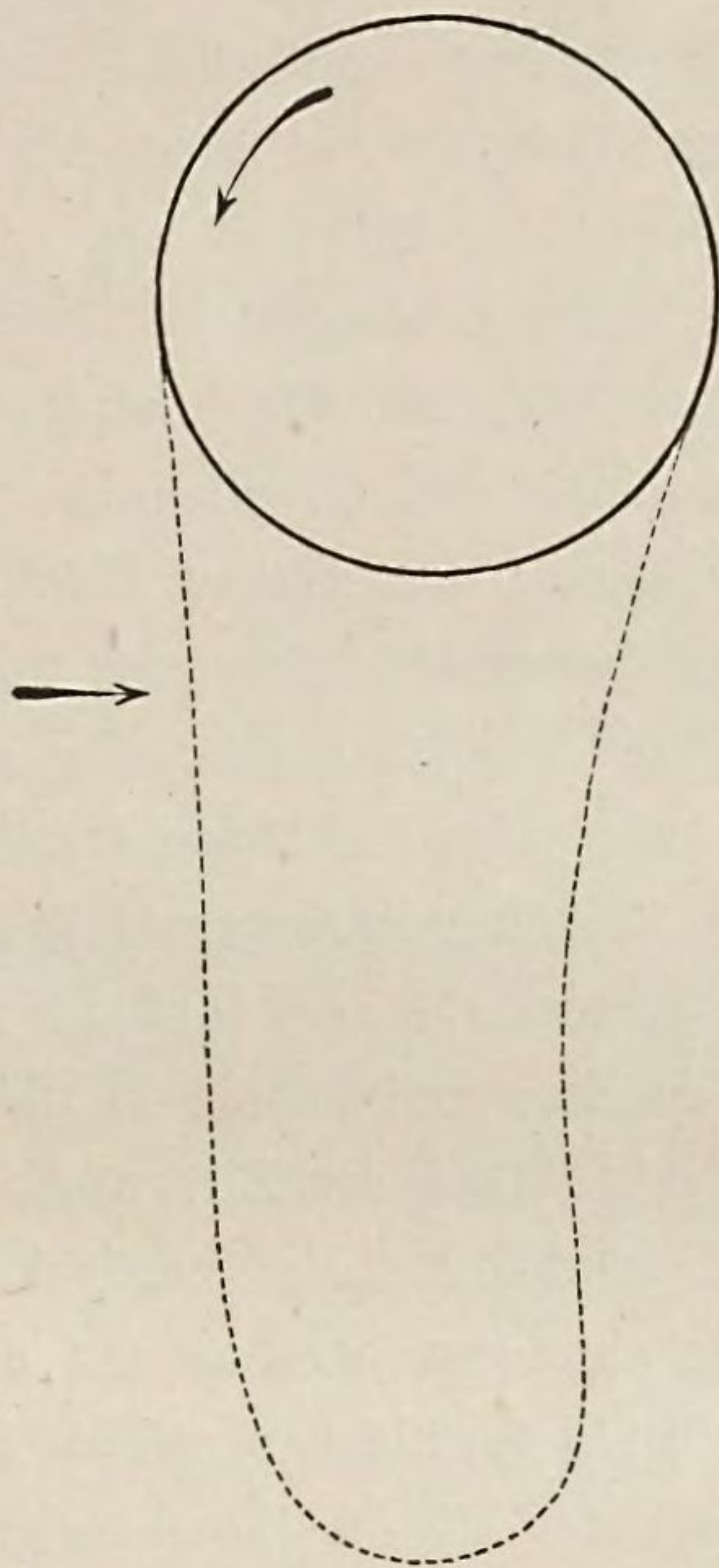


Fig. 2.

dann los, so durchläuft sie eine Reihe von Bewegungszuständen, welche ziemlich schwer verständlich sind, und welche Sie gewiss nicht voraus gesehen haben würden, wenn ich Sie aufgefordert hätte, mir vorher zu sagen, was für Wirkungen zu erwarten seien.

Ich will Sie nicht länger mit diesen Dingen hinhalten; es kann damit eine Reihe von schönen Versuchen gemacht werden. Ich will Ihnen aber noch ein weiteres Beispiel vorführen, wo der gewöhnliche, vernünftige Mensch mit mechanischen Kenntnissen sich nicht unmittelbar von der Wirklichkeit dessen zu überzeugen vermag, was eintritt, wenn ich einen gewissen Versuch mit dem Apparat vornehmen werde. Ich habe eine Scheibe aus starkem, festem Papier, welche an ihrem Umfange mit Gewichten beschwert ist; ich will dieser Scheibe eine beträchtliche Umlaufgeschwindigkeit ertheilen und dieselbe alsdann, während sie in Drehung ist, biegen: ich glaube nicht, dass das Ergebniss genau nach Jedermanns Erwarten ausfällt. (Fig. 3.) Wir überlassen nämlich jetzt die Scheibe sich selbst, und ich glaube nicht, dass jeder von Ihnen erwartet haben wird, dass sie so lange Zeit ununterbrochen dieselbe Form beibehält. Ich lasse sie rascher laufen, und Sie sehen, dass eine Kraft da ist, welche sie in die vertikale Lage zurückzuführen strebt. Mit der Zeit würde sie schliesslich auch wieder in die vertikale Lage zurückkehren.

Alle diese Erscheinungen beruhen auf dem Beharrungsvermögen; eine Anzahl ähnlicher, welche bei den elektrischen Versuchen auftreten, die ich Ihnen vorzuführen wünsche, beruhen gleicherweise auf dem sogenannten elektrischen Beharrungsvermögen. Für das elektrische Beharrungsvermögen braucht man gewöhnlich den Namen „Selbstinduktion“, und ich werde oft Gelegenheit haben, mich desselben zu bedienen; wenn Sie die von derselben verursachten Wirkungen gesehen haben, so wollen Sie daran denken, dass das Analogon zur Selbstinduktion das Beharrungsvermögen ist. Die eben vorge-

führten Versuche erfordern einerseits eine gewisse Krümmungsfähigkeit (z. B. der Kette), Biegsamkeit, überhaupt Bewegungsfähigkeit, andererseits aber ein natürliches Be-

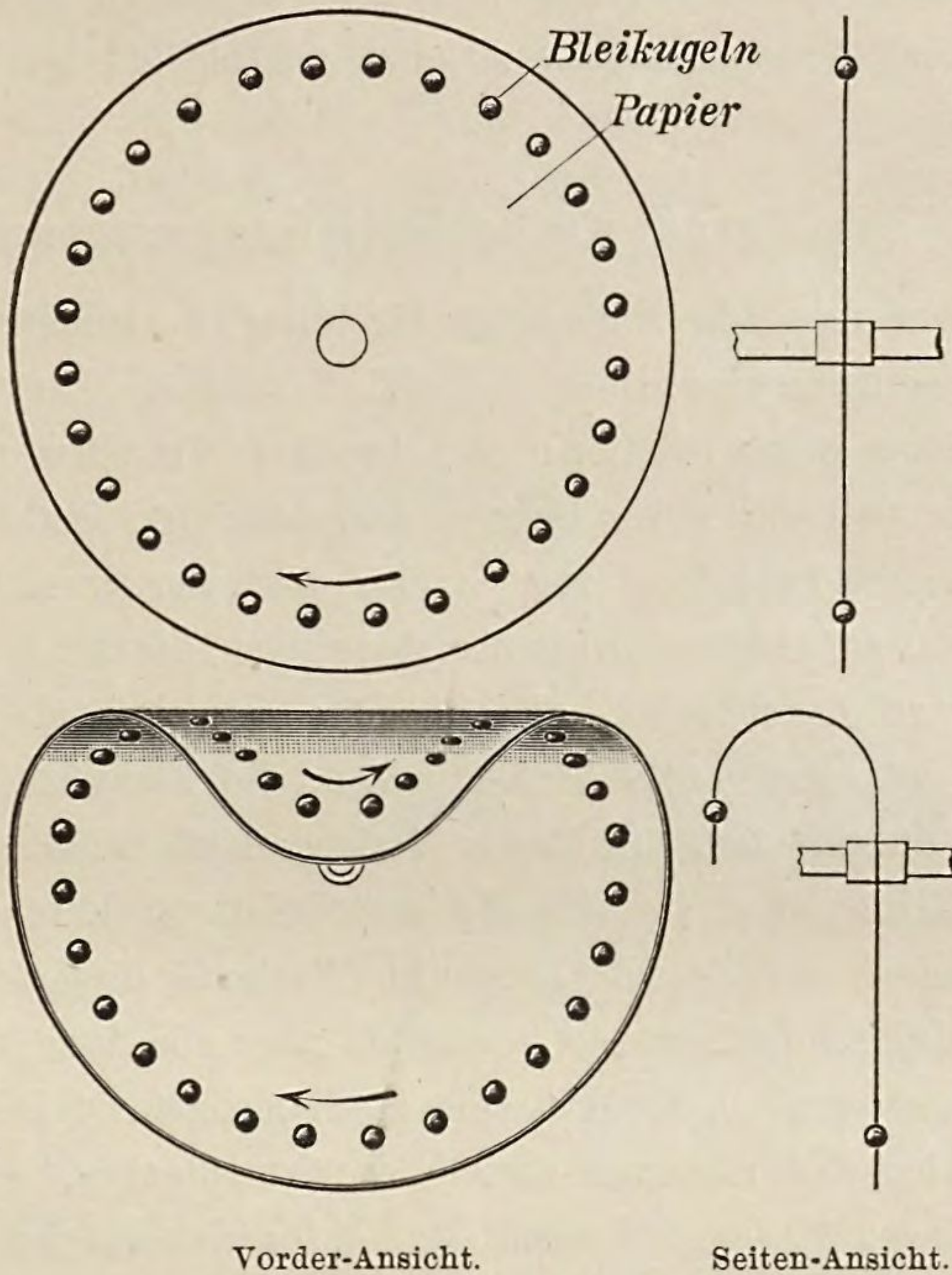


Fig. 3.

streben, die alte Form wieder anzunehmen, wenn keine Ursachen weiter dagegen wirken.

Manche von den elektrischen Versuchen, welche ich Ihnen vorzuführen haben werde, beruhen in ihrer Wirkung auf

einer gewissen elektrischen Biegsamkeit oder Nachgiebigkeit, welche gewöhnlich den Namen der elektrischen Kapazität führt. Diese beiden, nämlich Kapazität und Selbstinduktion, sind die beiden uns am meisten interessirenden Gegenstände, welche in diesen Vorträgen behandelt werden sollen. Ich muss mich mit denselben ziemlich ausführlich beschäftigen.

Der Faraday'sche Entladungsversuch.

Als passende Einleitung für diese Vortragsreihe mag ein Versuch von Faraday angeführt werden. Der Genannte lud eine grosse Batterie von Leydner Flaschen und versuchte sie durch einen langen, ausgespannten Draht zu entladen; die Entladung zog es aber vor, von einem Ende des Drahtes zum andern direkt überzuspringen, anstatt den Drahtkreis zu durchlaufen, obwohl da eine metallische Leitung war, und man hätte denken sollen, die Elektrizität würde diese durchlaufen. In diesem Versuch sind beinahe sämtliche Grundlagen für alle die mannigfaltigen Erscheinungen enthalten, welche ich Ihnen im Verlaufe dieser Vorträge vorzuführen beabsichtige. Anstatt aber alle diese Vorgänge in einer einzigen Versuchreihe zusammengefasst Ihnen vorzuführen und sie dann einzeln durchzusprechen, wollen wir jetzt dazu übergehen, jeden einzeln für sich durchzunehmen.

Analogon eines elektrischen Stromes.

Ich möchte Ihnen, ehe wir weiter gehen, zunächst zeigen, was für ein mechanisches Analogon es ist, welches ich in diesen Vorträgen beim Studium der elektrischen Ströme

wiederholt zu benutzen beabsichtige. Die Analogie mit dem Wasser, von der ich gesprochen habe, ist sehr nützlich, ich will mich aber bemühen, Ihre Aufmerksamkeit auf eine andere Darstellungsweise hinzulenken, und zwar will ich das mit Hülfe dieses Modells hier thun. Hierbei wird ein elektrischer Strom mit Hülfe dieses Apparates hier dargestellt (Fig. 4). Meine Hände stellen eine Centrale am oberen Ende dar, während am untern eine Verbrauchsstelle sich befindet, woselbst die Arbeitsleistung zur Hebung von Gewichten benutzt werden soll. Diese hängen an dem ver-



Fig. 4.

tikalen Gummiring, welchen ich halte. Ich habe nun eine elektromotorische Kraft anzuwenden. Die Kraft ist eine rein mechanische, eine verdrehende oder Torsions-Kraft. Ich gebe also eine gewisse Torsion. Indem ich die Kraft hier oben aufwende, ertheile ich dem Gummischlauch eine gewisse Torsion, welche nach dem unteren Ende sich fortpflanzt, und die Gewichte steigen. Das ist eine sehr einfache Sache und dient darum um so besser zur Verdeutlichung dessen, was ich weiter ausführen will. Wir können

nämlich einen gleichförmigen Strom anwenden, in welchem Falle ich den Ring immer in demselben Sinne winde, oder wir können einen Wechselstrom benutzen, wobei ich nach entgegengesetzten Richtungen drehe. Den Widerstand bildet in diesem Falle der Widerstand des Gummischlauchs gegen die Verdrehung, aber jede beliebige Art von Reibung würde sich ebenso gut eignen. Wenn ich zum Beispiel einen von diesen Streifen Telegraphenpapier nehme und am oberen Ende verdrehe, so ist es ein gewisser Luftwiderstand, welcher der Verdrehung sich widersetzt; oder ich könnte irgend einen Körper, den ich zu tordieren beabsichtige, in Wasser oder Oel hängen, wobei die Reibung zwischen der Oberfläche des Gegenstandes und der Flüssigkeit den elektrischen Widerstand vertreten würde.

Kapazität.

Einer der ersten Gegenstände, von dem ich Ihnen eine einigermaßen klare Vorstellung verschaffen möchte, ist die Kapazität. Ein transatlantisches Kabel besitzt, wie ich schon erwähnte, naturgemäss einen gewissen Betrag von Kapazität, und diese zeigt sich an durch eine Ladung auf der Aussen-seite des Kabels. Um dies noch deutlicher zu machen, will ich mich sogleich eines Versuchs bedienen, indem ich eine Leydner Flasche lade und entlade, nur um Ihnen zu zeigen, was ich mit Kapazität meine und was ich unter einem Ding verstehe, welches eine elektrische Ladung aufzunehmen vermag. [Versuch.] Ein transatlantisches Kabel nun besteht aus einem von einem isolirenden Material umgebenen Draht. Der Draht ist der eine Konduktor — wir wollen ihn die

innere Belegung nennen — und das Seewasser ist die äussere, und diese Kombination muss bis zu dem Potential oder der Spannung geladen werden, welche im gegebenen Falle benutzt wird. Um nun irgend einen Theil des Kabels zu laden, muss eine gewisse Elektrizitätsmenge durch dasselbe hindurchgehen. Aber der Strom kann nicht augenblicklich die ganze Länge des Drahtes durchlaufen, weil für jeden Theil der Länge des Kabels, von einer Seite des atlantischen Oceans bis zur anderen, die Kondensatorwirkung eine gewisse Zufuhr von Elektrizität erfordert, und weil der Widerstand des Drahtes der letzteren nicht rascher zu fliessen gestattet, als der Anzahl der gerade benutzten Elemente entspricht. Darin liegen die Schwierigkeiten begründet, welche sich bei der Behandlung des Problems des unterseeischen Kabels erheben.

Ich möchte jetzt die Rolle, welche die Kapazität spielt, um sie noch etwas klarer zu machen, durch einen Versuch erläutern, und zwar auf die Gefahr hin, dass ich Sie damit ein wenig in Verwirrung bringe; ich will aber versuchen, dies zu vermeiden. Ich habe hier eine Anordnung, mittels deren ich einen Kondensator mit äusserster Schnelligkeit laden und entladen kann.

Die Elektrizitätsmenge, welche eine Leydner Flasche fassen kann, ist äusserst gering. Faraday pflegte zu sagen, dass bei der Zersetzung eines Regentropfens weit mehr Elektrizität gebraucht würde, als in einem Blitzstrahl enthalten ist. Die kleine Leydner Flasche, welche ich jetzt eben gebraucht habe, vermag nur eine sehr kleine Menge von Elektrizität zu fassen, aber der Kondensator, von dem ich jetzt gleich Gebrauch machen will, vermag noch viel weniger

zu fassen. Er fasst in der That nur äusserst wenig Elektrizität; aber indem ich einen Strom benutze, den ich mit ausserordentlich grosser Geschwindigkeit unterbreche und wieder umgekehrt schliesse, bin ich im Stande, den Strom in sehr rascher Folge zuzuführen, sodass zwar die Elektrizitätsmenge, welche bei einer Entladung hindurchgeht, sehr klein ist, dass aber thatsächlich die Gesamtmenge, welche im Verlauf einer Secunde hindurchgeht, in Folge der ausserordentlichen Zahl von Entladungen, welche im Verlauf einer Secunde stattfinden, sehr gross ist. Bei dem Versuch, welchen ich Ihnen sogleich vorführen will,

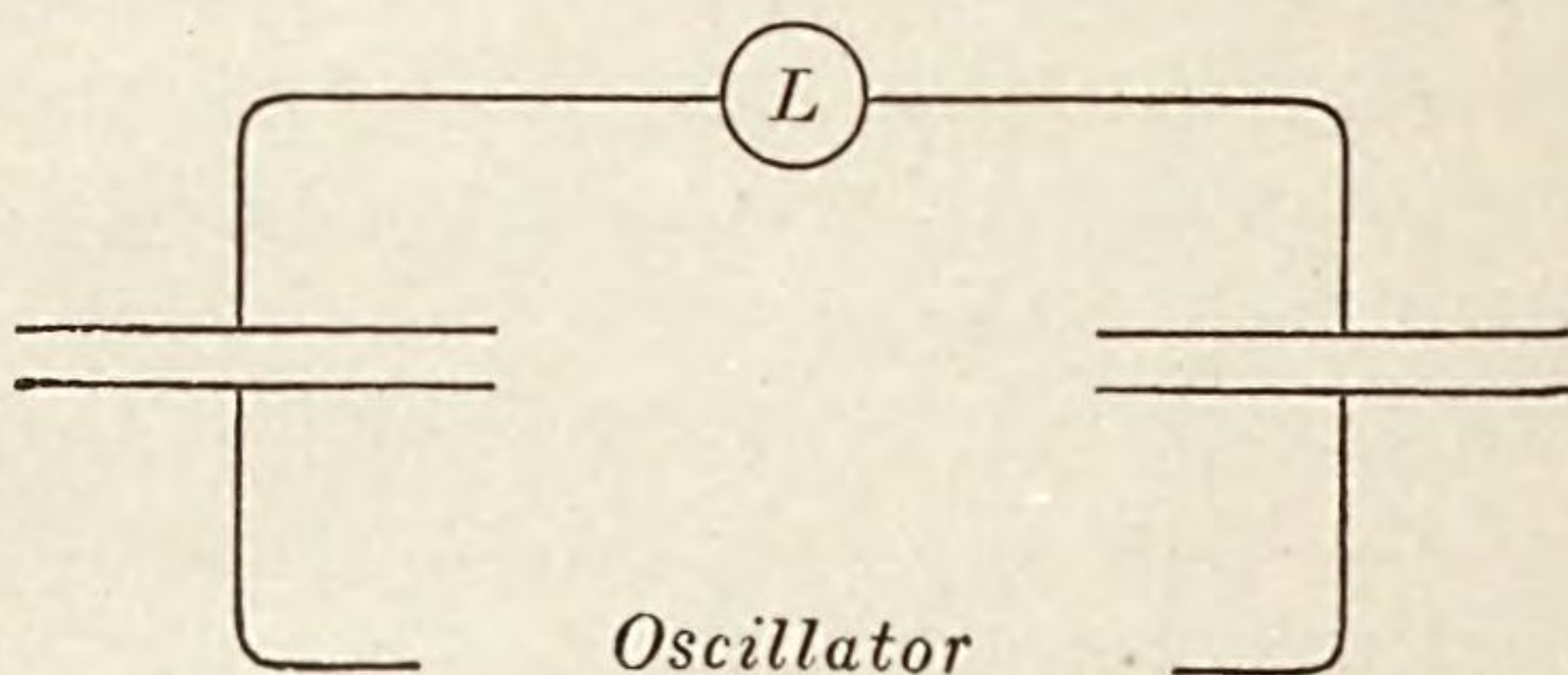


Fig. 5.

haben wir, indem wir zwei Paar von Weissblechplatten benutzen, zwei Kondensatoren von weit geringerer Kapazität, als diejenige der Leydner Flasche, welche Sie soeben gesehen haben, und dennoch wird ihre Kapazität in Verbindung mit der ausserordentlich hohen Spannung, deren ich mich bedienen werde, und mit den sehr raschen Wechseln genügen, um einen Strom zu liefern, welcher hinreicht, um eine Glühlampe zum Leuchten zu bringen, einen Strom, welcher doch sicher schon eine ansehnliche Stärke besitzt. Ich nehme jetzt die beiden oberen Platten der Kondensatoren und befestige sie über den unteren, und Sie bemerken ein

leichtes Erglühen der Lampe (Fig. 5). Ich kann die Platten noch weiter herunterrücken, und Sie erhalten selbst bei einer so äusserst geringen Kapazität ein glänzendes Licht, lediglich in Folge der hunderttausende von Volt, welche wir benutzen, und der ausserordentlichen Schnelligkeit der Wechsel.

Da ich den Apparat einmal da habe, will ich Ihnen dieselbe Wirkung in einer noch auffallenderen Weise zeigen. Ich werde nur zwei durch eine Glasplatte getrennte Spitzen be-

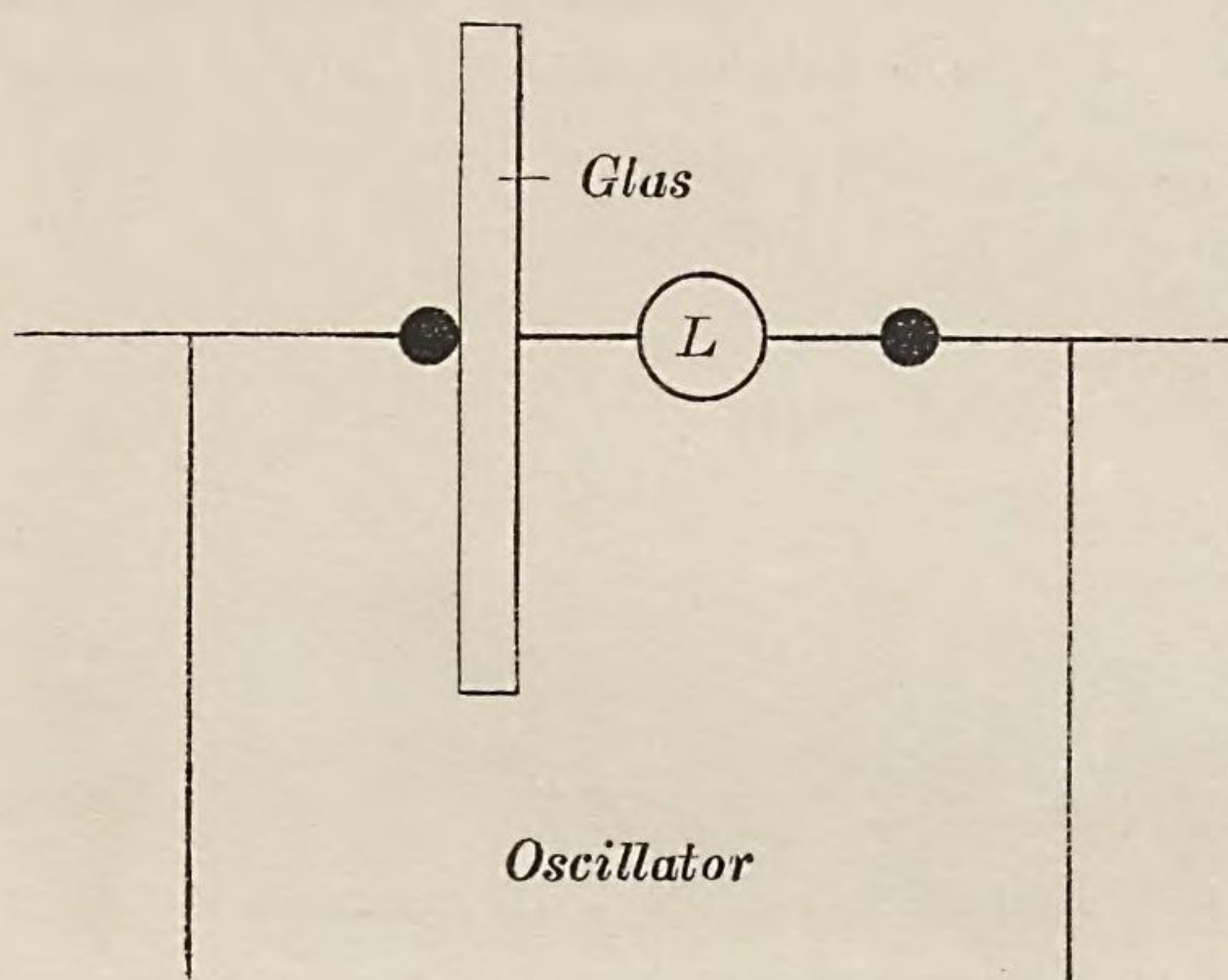


Fig. 6.

nutzen. Die Kapazität dieser Anordnung ist eine fast verschwindend kleine, und dennoch sind wir durch Anwendung der ausserordentlich hohen elektrischen Spannungen und mit der grossen Frequenz, welche wir benutzen, im Stande, Elektrizität in genügender Menge zu erhalten, um eine Glühlampe zum Leuchten zu bringen. Ich lehne an eines der Polenden eine Glasplatte und befestige am andern eine Glühlampe, von welcher ein Draht zur Glasplatte heraufführt.

Die Kapazität dieses Kondensators ist sicher beinahe unendlich klein, und doch haben wir einen merklichen Betrag von Elektrizität, welcher während der Vorführung des Versuchs ein- und austritt. (Fig. 6.) Das ist ein sehr überraschender Versuch. Da ich den Apparat gerade hier habe, will ich Ihnen auch noch zeigen, was für eine Kapazität mein eigener Körper besitzt. Ich denke, Sie werden mir es glauben, dass dieser Fussboden vollkommen isolirt ist, und dass kein Strom durch mich hindurch zu ihm abzufließen vermag. Folglich hat der Strom, da die Lampe nur an

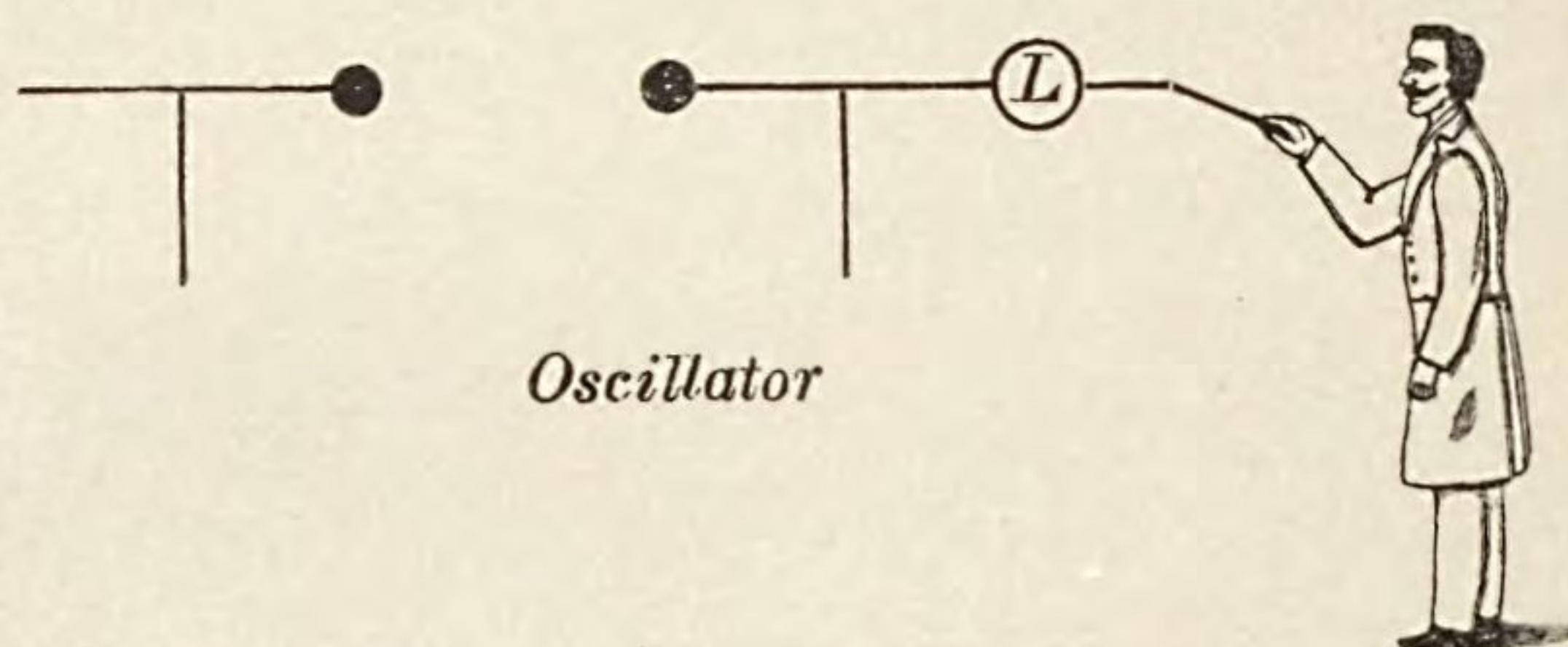


Fig. 7.

einem der Polenden befestigt ist, keinen vollständig geschlossenen Kreis zum Durchlaufen, und wenn ich hier berühre, so kann die Lampe nur dadurch zum Aufleuchten kommen, dass mein Körper sich ladet und wieder entladet. (Fig. 7.) Jetzt leuchtet die Lampe; dabei ist die Ladung und Entladung meines Körpers für mich völlig unmerkbar.

Mechanische Analogien.

Die Kapazität ist dasjenige, womit ich mich heute hauptsächlich zu beschäftigen habe, und der grösste Theil des Restes meines Vortrags soll der Erläuterung des trans-

atlantischen Kabels gewidmet sein. Zuerst aber will ich Ihnen die verschiedenen Modelle vorführen, welche ich für die Erklärung geeignet gefunden habe; dieselben sind von einfachster und elementarster Art. Ich weiss aber bestimmt, sobald Sie sich die Vorgänge bei diesen einfachen Modellen recht klar machen und die vollkommenen Analogien mit den elektrischen Erscheinungen, welche Sie mit denselben zu erhalten vermögen, praktisch anwenden, dass sie dann an denselben eine grosse Hülfe haben werden, wenn Sie sich mit irgend welchen elektrischen Problemen von dieser Art beschäftigen oder die Vorgänge bei solchen sich klar machen wollen.

An erster Stelle will ich mich lediglich mit der Torsion von Körpern beschäftigen. Ich fasse die elektromotorische Kraft auf als die Kraft, mit welcher ich tordiere. Ich kann die Kraft, mit welcher ich irgend einen Körper verdrehe, messen, indem ich einen Faden um ihn schlinge, denselben über eine Rolle laufen lasse und ein Gewicht daran hänge (Fig. 8, 9, 10 und 11). Diese Kraft ist die elektromotorische Kraft. Hier habe ich eine Centrale (Fig. 8) mit einer tordirenden Kraft, hier habe ich die Linienleitung, welche nach einem entfernten Orte führt, und dort habe ich einen Widerstand, und zwar eventuell von solcher Grösse, dass er der Kraft, welche ich ausübe, gerade das Gleichgewicht hält. Dann wird also eine bestimmte Umdrehungsgeschwindigkeit erreicht werden, welche dem elektrischen Strom analog ist. Somit entspricht bei diesen Modellen die verdrehende Kraft der elektromotorischen Kraft, die Reibung dem Widerstand, die Umdrehungsgeschwindigkeit dem elektrischen Strom. In einer solchen Centrale kann

ich entweder einen dauernden Strom verwenden, welcher immer in derselben Richtung umläuft, oder ich kann einen Wechselstrom benutzen, welcher erst in der einen, dann in der anderen Richtung läuft. In beiden Fällen ist es ziemlich leicht, die Erscheinungen, welche auftreten, zu verfolgen, wenn der Körper, welchen ich tordiere, vollkommen steif ist, wie der Kupferdraht hier (Fig. 8).

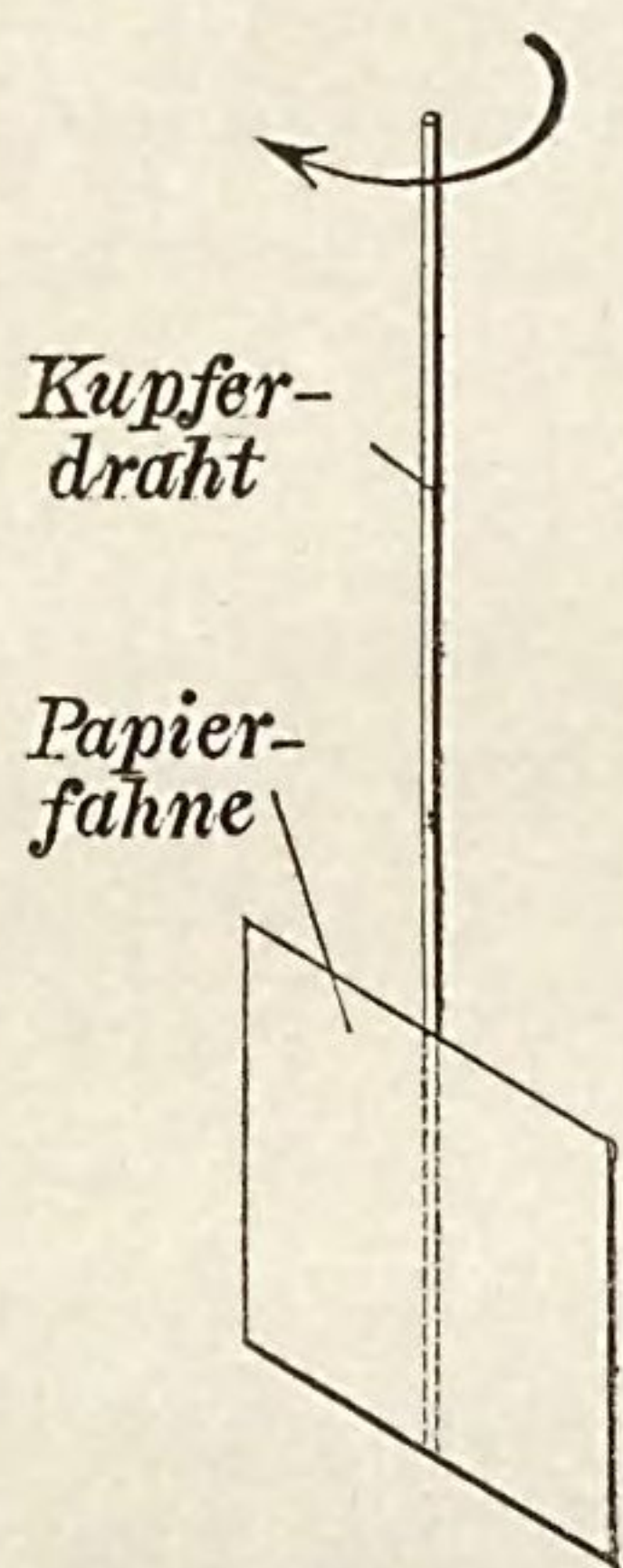


Fig. 8.

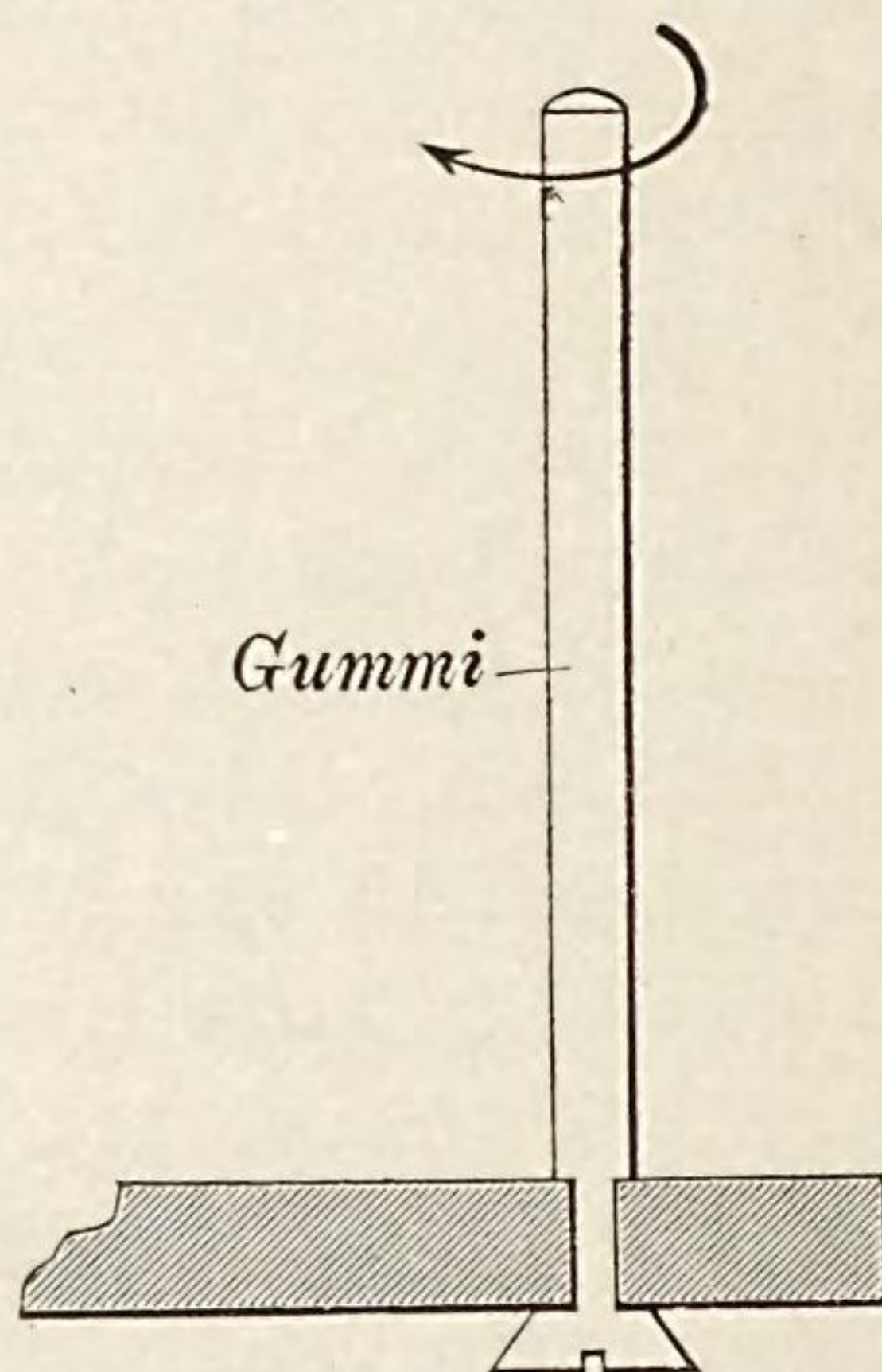


Fig. 9.

Ich habe eine Anzahl weiterer Veranschaulichungsmittel. Sie können zu diesen Versinnlichungen verschiedene mechanische Anordnungen wählen, immer können Sie elektrische Analoga dazu finden. Hier zum Beispiel (Fig. 9). Nehmen Sie an, ich tordire diese elastische Schnur am oberen Ende und halte sie am unteren fest — was entspricht dem? Antwort: ein Kabel von grosser Kapazität, welches von der

Erde isolirt ist, d. h. in welchen die Elektrizität nicht frei beweglich ist; einem solchen wird durch irgend eine elektromotorische Kraft eine gewisse Ladung ertheilt, oder dem analog, mit einem Gewicht von beispielsweise 1 Gramm, erhält die

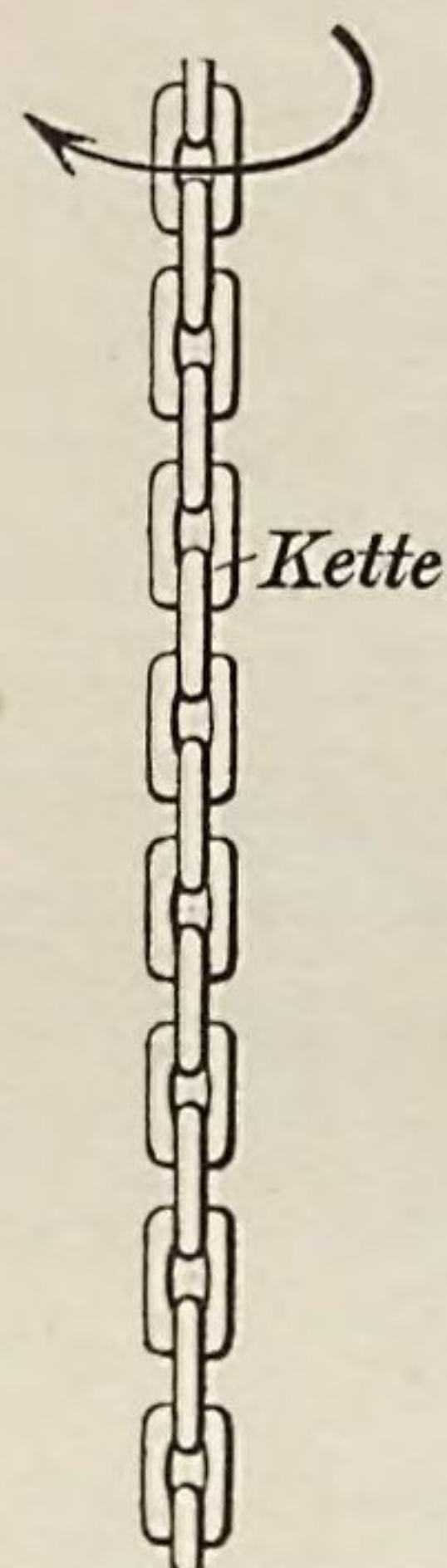


Fig. 10.

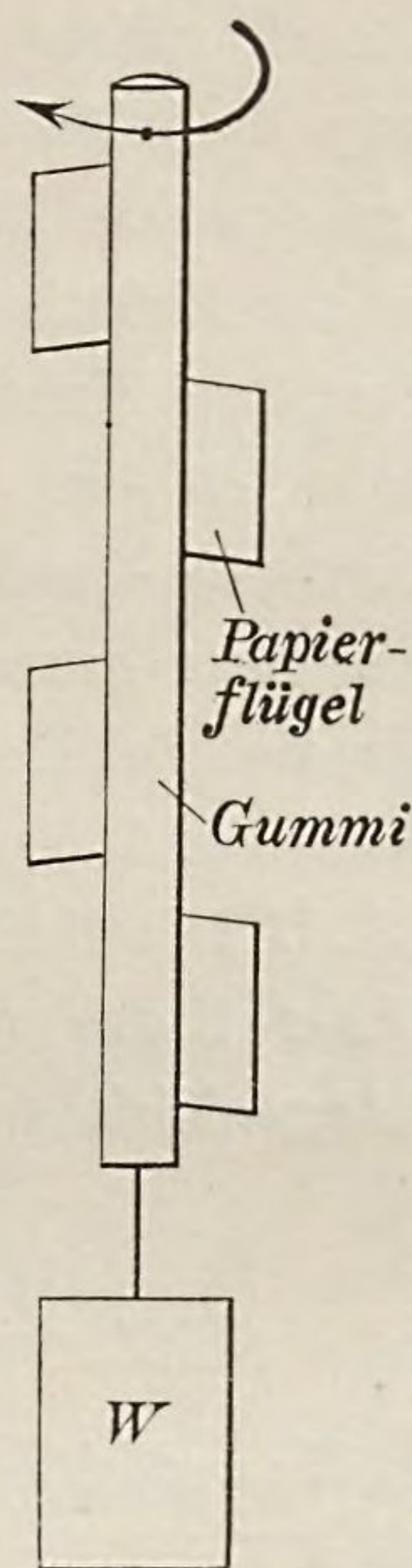


Fig. 11.

Schnur eine gewisse Torsion. Wir dürfen daher die Kapazität als eine Art Nachgiebigkeit in der Richtung der wirkenden Kraft auffassen; die Ladung ist die Grösse, um welche dieses Nachgeben erfolgt ist. Eine tordierte, biegsame Schnur, wie diese hier, ist ein geladenes Kabel.

Ich habe hier eine Vorrichtung (Fig. 11), welche eine Verbindung von Biegsamkeit des Kabels, d. h. Kapazität, mit einer Masse oder einem Beharrungsvermögen am entfernten Ende, d. h. Selbstinduktion, und mit Luftreibung, d. h. Widerstand, darstellt. Wenn ich durch dieselbe Wechselströme hindurch schicke, so werden Sie bemerken, dass die Fortpflanzung derselben in einer Art von Wellenbewegung längs der ganzen Linie hinab erfolgt. Genau dasselbe geschieht bei der Elektrizität, vorausgesetzt, Sie haben in beiden Fällen Ihre Einheiten entsprechend gewählt.

Hier habe ich eine schwere Kette (Fig. 10). Wenn ich diese Kette vor- und rückwärts tordiere, so dreht sie sich nicht in ihrer ganzen Länge gleichzeitig; dies kommt davon, dass sie gleichzeitig die Fähigkeit, sich in ihren einzelnen Theilen zu drehen, d. h. Kapazität, und Beharrungsvermögen, d. i. Selbstinduktion besitzt. Das Beharrungsvermögen ihrer Masse verhindert, dass die Bewegung in demselben Augenblick sich ihrer ganzen Länge mittheilt.

Unterseeische Kabel.

Jetzt endlich möchte ich Ihre Aufmerksamkeit auf die unterseeischen Kabel lenken. Ich will Ihnen zunächst in einfacher Weise klar machen, in wie fern ein tiefer, schmaler Wassertrog eine Analogie für ein unterseeisches Kabel bildet. Dieser Trog hat an allen Stellen Kapazität, weil das Niveau steigen kann, er besitzt in seiner ganzen Länge Widerstand, weil zwischem dem Wasser und den Seitenwänden Reibung besteht; in jeder Hinsicht ist die Fortpflanzung einer Welle längs des Troges der Fortpflanzung einer Welle in einem

unterseeischen Kabel analog; in der That, es ist dies wirklich eine sehr genaue Analogie. Um dies klar zu machen, will ich jetzt ein paar Wellen erregen, und Sie werden die Fortpflanzung der Wellen über die ganze Länge der Wasseroberfläche beobachten können, wobei die Niveauveränderung einige Zeit braucht, um das entfernte Ende zu erreichen. Genau dasselbe tritt bei einem unterseeischen Kabel ein — die Welle braucht eine gewisse Zeit, um das entfernte Ende zu erreichen.

Ich möchte Ihnen nunmehr eine höchst bemerkenswerthe Einrichtung vorführen. Ich habe hier eine Schnur, welche an einer Feder hängt; daran sind eine Anzahl Flügel befestigt. Zwei Düsen dienen dazu, Luftströme in entgegengesetzten Richtungen gegen diese Flügel zu blasen. Die Schnur ist in dieser langen Röhre in ein Gemisch von Glycerin und Wasser eingetaucht, und am unteren Ende habe ich einen Spiegel befestigt, von welchem ich einen Lichtstrahl reflectieren lassen kann. Die Schnur könnte am Boden der Röhre mittels einer Feder befestigt sein; anstatt aber eine Feder zu verwenden, habe ich mich einer anderen, von selbst sich darbietenden Methode bedient: ich habe am Spiegel einen kleinen Magnet befestigt und benutze Richtmagnete. Gestatten Sie, dass ich Sie auf diese Zeichnung hinweise (Fig. 12). Die obere Feder wirkt als Kondensator, und der Luftstrom mit den Papierflügeln nimmt die Stelle der Batterie ein. Die Feder unten vertritt die Stelle des andern Kondensators. Wir haben da einen mechanischen Apparat, welcher genau dem elektrischen entspricht, wie er bei der Sendung von Depeschen durch ein transatlantisches Kabel benutzt wird. Ehe ich aber das Modell ge-

brauche, möchte ich Ihnen die Erscheinung der Verzögerung des Stromes in einem transatlantischen Kabel selbst vorführen, d. h. natürlich mittels eines jener künstlichen Kabel, wie sie von Herrn Dr. Muirhead hergestellt worden sind; derselbe ist mir überhaupt sehr behülflich gewesen. Dr.

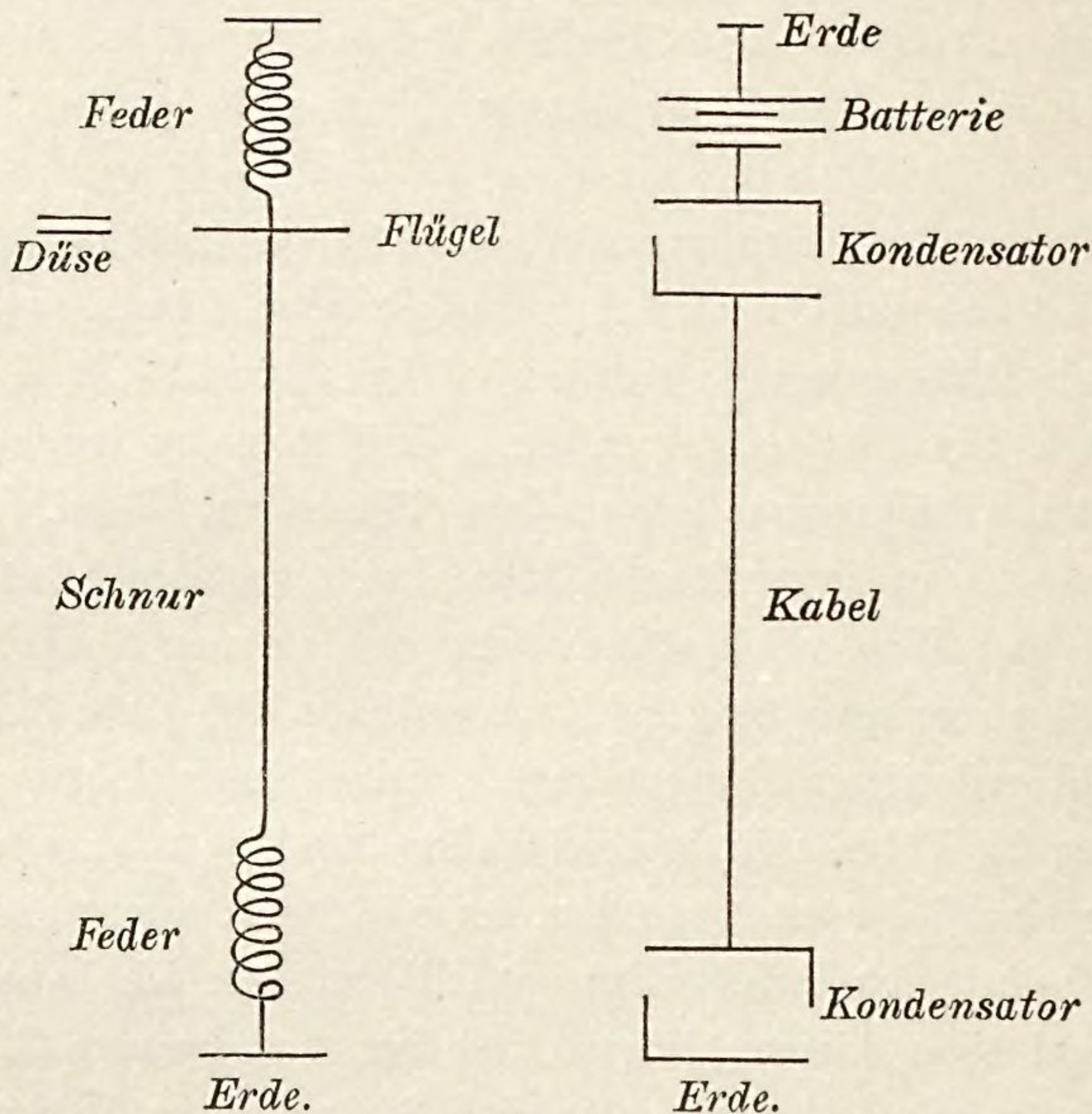


Fig. 12.

Muirhead's künstliche Kabel sind aus Zinnfolie hergestellt, welche in dieser Weise geschnitten ist (Fig. 13), um einen hohen Widerstand und eine entsprechende Kapazität zu erhalten. Diese zwei Arten von Blättern sind abwechselnd auf einander gelegt und durch Paraffin von einander getrennt; die ungetheilten Blätter sind mit der Erde verbunden.

In dieser Weise sind diese künstlichen Kabel aufgebaut und ahmen so ein wirkliches unterseeisches Kabel nach. Führen wir nunmehr die Verzögerung des Stromes vor! Dieses Galvanometer ist mit dem Ende an der Abgangsstation verbunden; der Strom geht dann durch das ganze Kabel hindurch, tritt am anderen Ende desselben aus, passirt daselbst dieses Galvanometer und lenkt dasselbe ab. Die Bewegungen beider Galvanometer werden durch die Lichtpunkte sichtbar

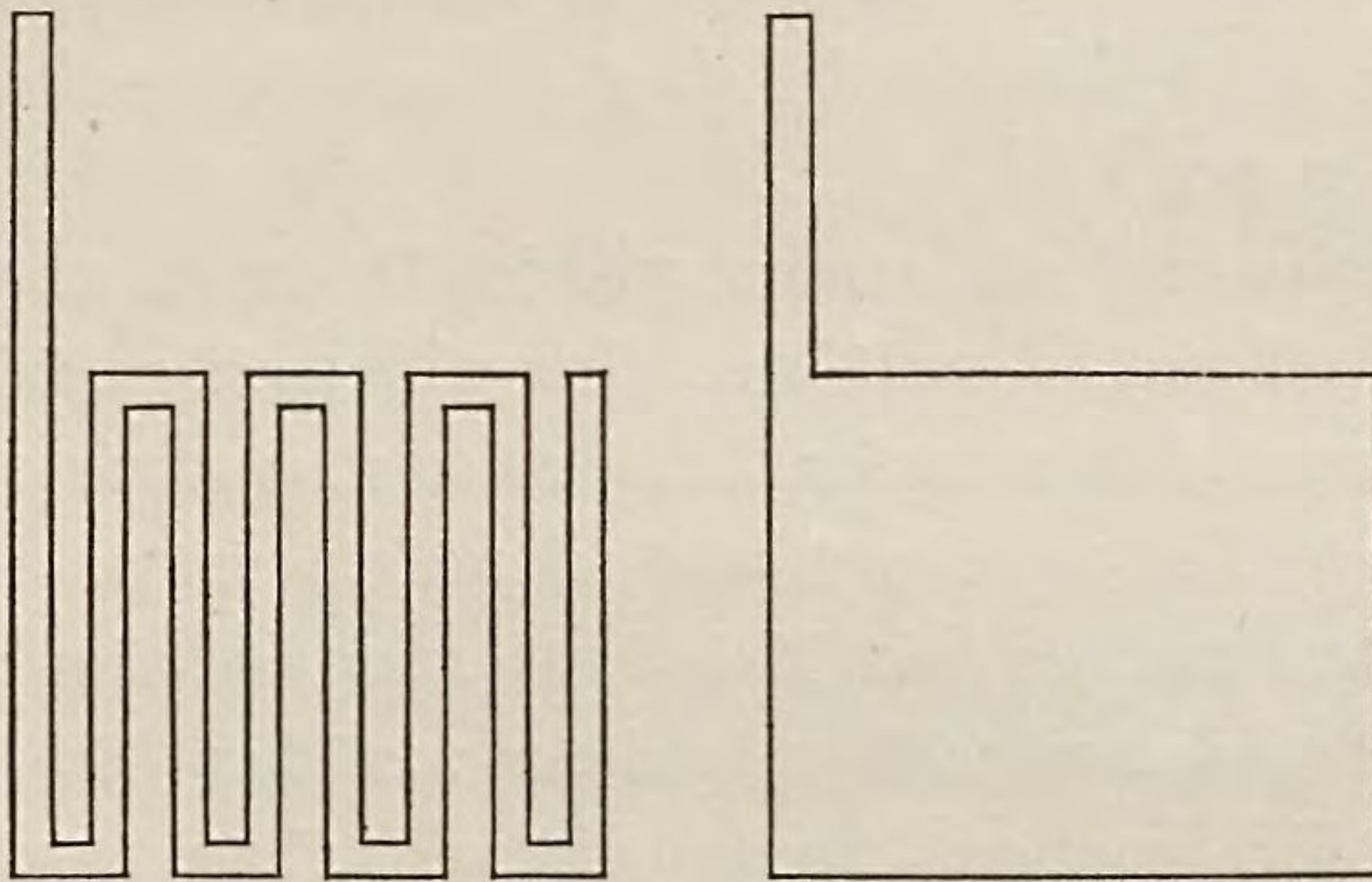


Fig. 13.

gemacht werden, welche auf diesem Schirm zu sehen sind. Jetzt soll ein Zeichen durch das Kabel gesandt werden, und ich bitte Sie darauf zu achten, wie das Galvanometer auf der Abgangsstation sofort ausschlägt, wie es aber einer merklichen Zeit bedarf, ehe das andere beeinflusst wird. [Versuch.] Sie können das Zeitintervall zwischen dem Abgang und der Ankunft des Zeichens beobachten, und Sie sehen gleichzeitig, wie der durch das ankommende Zeichen bewirkte Ausschlag allmählig anwächst. Genau dasselbe ist zu be-

obachten, wenn ich die Flügel am oberen Ende der in der Glycerinröhre hängenden Schnur, welche ich Ihnen bereits beschrieben habe, in Drehung versetze, wenn Sie auf die Ablenkung des Spiegels am unteren Ende achten. Dies giebt, ich muss das besonders betonen, wirklich, wenn Sie Ihre Einheiten passend wählen, ein vollkommenes Bild eines transatlantischen Kabels. Ich würde gern ein wenig mehr Zeit darauf verwenden, um Ihnen zu zeigen, wie Sie durch Messung der Torsion die Kapazität und den Widerstand erhalten können. Leider gestattet mir dies die Zeit nicht, aber ich kann vielleicht bei einer anderen Gelegenheit mehr darüber sagen.

Mit diesen Vorrichtungen will ich Ihnen einige weitere, lehrreiche Versuche vorführen. Ich will mich zunächst der aufgehängten Schnur in der Weise bedienen, dass wir zuerst an ihr unsere Beobachtungen machen wollen, um voraussagen zu können, was wir beim Kabel zu erwarten haben werden. Wir wollen die aufgehängte Schnur zunächst ohne Gegenstromsender benutzen. Lassen Sie mich Ihnen erst sagen, was ein Gegenstromsender ist. Beim transatlantischen Kabel hat man gefunden, dass, wenn man immer nur positive Stromimpulse hindurchsendet, das Signal zwar in einer bestimmten Art und Weise ankommt, welche ganz zufriedenstellend ist, dass aber das ankommende Zeichen wesentlich verbessert wird, wenn man, nachdem man einen positiven Stromimpuls erteilt hat, eine kurze Zeit darauf einen negativen folgen lässt. Ich will dies noch anders darstellen. Wenn Sie eine Peitsche mit einer langen Schmitze nehmen, und Sie wollen einen Knall damit hervorbringen, so können Sie der Schmitze eine Vorwärtsbewegung er-

theilen, und Sie erzielen so einen Knall von einer gewissen Stärke; Sie erhalten aber einen viel schärferen Knall, wenn Sie sofort eine Rückwärtsbewegung folgen lassen. So bedeutet hier bei meinem Kabelmodell der Ausdruck „mit Gegenstrom arbeiten“ demselben erst eine Torsion in einer Richtung und alsdann eine solche in der entgegengesetzten Richtung ertheilen. Ohne Gegenstrom arbeiten, heisst einfach eine Torsion nur in einer Richtung ertheilen. Wir wollen den Buchstaben S, d. h. drei Punkte, telegraphieren, um Ihnen zu zeigen, was bei einem wirklichen Kabel geschieht. Wollen Sie das mittels des Lichtpunktes verfolgen, den Sie auf dem Schirm sehen. Ich möchte Ihnen den Unterschied zwischen dem Telegraphieren mit und ohne Gegenstrom vorführen. Wenn Sie rasch telegraphieren, häufen sich die Zeichen am Ende auf einander und verursachen, dass der Lichtpunkt immer weiter und weiter wandert, wenn das zweite und das dritte Signal ankommt. Wenn wir Gegenstrom benutzen, tritt das nicht ein. Eine gleiche Wirkung, wie die des Gegenstromsenders, können wir uns aber verschaffen, indem wir erst den positiven und dann den negativen Taster hier niederdrücken, und Sie werden den Erfolg mit Hülfe des reflektierten Lichtstrahls auf dem Schirm beobachten können. [Versuch.]*)

Zum Schluss möchte ich Ihre Aufmerksamkeit auf den schönen Apparat lenken, welcher beim Telegraphieren durch ein transatlantisches Kabel gebraucht wird. Zunächst wird die Depesche in einen Papierstreifen ausgestanzt, und

*) Wegen genauerer Beschreibung des Modells s. die Anmerkung am Ende des Vortrags.

zwar so, dass der Strom in positiver oder negativer Richtung läuft, je nachdem die Löcher auf der einen oder anderen Seite des Streifens ausgestanzt sind. Den Papierstreifen lässt man nachher durch den Sender laufen, und während er hindurchläuft, wird durch die Löcher hindurch Kontakt gemacht, und so die Depesche abgesendet. Wir wollen jetzt eine Depesche durch den Apparat hindurch senden. [Versuch.] Die durch das Kabel gesandten Depeschen werden durch ein Instrument aufgenommen, welches „Heberschreiber“ heisst, und welches ursprünglich von Lord Kelvin erfunden worden ist. An dem Gegenstromsender hier auf dem Tische habe ich noch eine sehr schöne Einrichtung; während er nämlich in Thätigkeit ist, kann ich, indem ich diese Schraube drehe, den Betrag des beim Zeichengeben durch das Kabel benutzten Gegenstromes verändern, und durch diese Aenderung sind Sie im Stande, die Zeichen so abzugleichen, dass die vom Empfänger gelieferte Schrift möglichst schön ausfällt. Und so sind Sie im Stande, durch dieses Mittel, ohne einen Kondensator zu benutzen, sondern bei directer Zeichenabgabe, eine Vermehrung der Telegraphiergeschwindigkeit um ungefähr 25 % zu erzielen, eine Sache von grosser Wichtigkeit. Ich glaube nicht, dass Zeit sein wird, noch genauer hierauf einzugehen, ich bin aber in der Lage, Ihnen ein paar auf Karton aufgezeichnete Proben einiger telegraphischer Zeichen vorzuzeigen, welche nach drei verschiedenen Methoden erhalten worden sind: erstens mit Kondensator, zweitens ohne Kondensator, und drittens ohne Kondensator aber mit Gegenstromsender, und zwar ist die dritte die beste. Ich wünsche ein Wort mit einer grösseren Anzahl

von besonderen Buchstaben, wie „H“ und „S“, und darum wählte ich den Namen eines Mitglieds dieser Gesellschaft, welches sich sehr viel mit dem Telegraphenwesen be-

Mit Kondensator



Ohne Kondensator



desgl. mit Gegenstrom

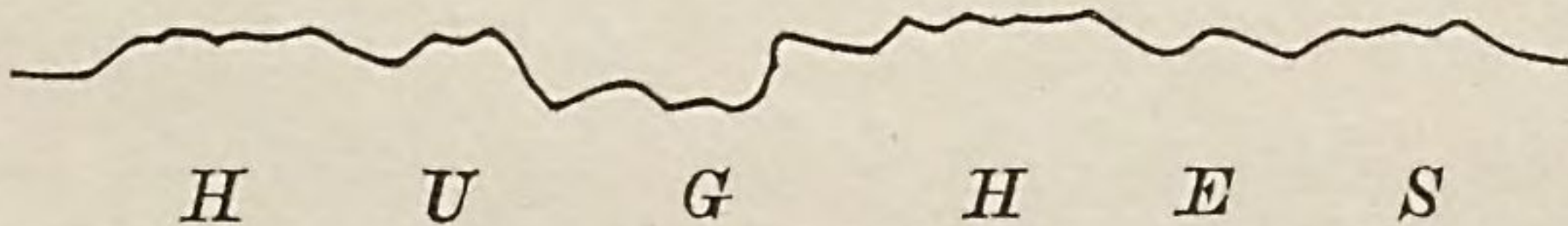


Fig. 14.

schäftigt hat; hier sind die Zeichen (Fig. 14), genau wie sie der Empfangsapparat selbst aufgezeichnet hat — „Hughes“.

Anmerkung.

Gangbares, auf der Torsion beruhendes Modell eines unterseeischen Kabels.

Zum Nutzen der Telegraphenbeamten möchte ich noch ein paar Worte über das Modell sagen, welches das unterseeische Kabel darstellt.

Wenn Sie eine Schnur in einer mit einer Mischung von Glycerin und Wasser in geeigneten Verhältnissen gefüllte Röhre einhängen, haben Sie alles wesentliche für das Verständniss der Fortpflanzung einer elektrischen Spannung durch ein unterseeisches Kabel. Aber die Messung der oben ausgeübten Torsionskraft ist schwierig. Jeder Mechanismus, welcher Masse oder Beharrungsvermögen besitzt, ist zu beanstanden, da er das Analogon einer starken Selbstinduktion mit hereinbringt, welche beim elektrischen Problem nicht da ist. Aus diesem Grunde hänge ich den Faden auf und befestige Papierflügel daran, welche ich durch den konstanten Druck eines Luftstromes im Kreise herum blasen kann, um so die elektromotorische Kraft darzustellen. Die Welle, an welcher die Flügel sitzen, ist starr und reicht bis zu dem Punkt in die Flüssigkeit hinab, wo die das Kabel darstellende Schnur daran befestigt ist. Die Flügel und die Luftstrahlen stellen die Batterie dar; ich finde es bequem, zwei Strahlen zu verwenden, um die Flügel in entgegengesetzten Richtungen rotieren lassen zu können. Diese werden durch zwei Taster, $+$ und $-$, in Thätigkeit gesetzt, welche die Luft der einen oder anderen Düse zuführen. Soll beim Modell kein Send-Kondensator

mit dargestellt werden, so muss die Flügelwelle durch einen torsionsfreien Seidenfaden getragen werden. Natürlich wird die Flügelwelle von der Seite her durch Führungen gehalten. Nachdem alles so angeordnet ist, können wir annehmen, dass der benutzte Luftdruck die elektromotorische Kraft der Telegraphierbatterie darstellt, sagen wir 100 Volt. Wenn das Kabel, welches wir nachahmen wollen, 800 Mikrofara-
 farad Kapazität hat, würde die permanente Ladung in dem-

selben $\frac{800}{10^6} \times 100 = 0,08$ Coulomb betragen. Machen

wir jetzt das untere Ende der Schnur fest, lassen den Luftstrom spielen und beobachten die Grösse der Torsion. Angenommen sie betrage 10 Umdrehungen. Dann bedeutet eine Umdrehung 0,008 Coulomb, und eine Umdrehung in der Secunde bedeutet 0,008 Ampère. Ist nun der Widerstand des Kabels 6 000 Ohm, so würde der Dauerstrom

$\frac{1}{60}$ Ampère sein. Dieser würde durch $\frac{1}{60 \times 0,008} = \frac{1}{0,48} =$

zwei Umdrehungen in der Secunde dargestellt werden. Lassen wir nunmehr das untere Ende frei und lassen den Luftstrom am oberen Ende wirken. Wenn Sie alsdann zwei Umdrehungen in der Secunde erhalten, so haben Sie bei Ihrem Modell den richtigen Widerstand. Wenn nicht, so fügen Sie mehr Wasser oder Glycerin hinzu, bis Sie ihn richtig bekommen.

Sie können jedoch so keine Spiegelsignale erhalten, da die Geschwindigkeit den Strom darstellt, und daher der Nullpunkt sich bewegen würde. Wenn Sie indessen einen Spiegel am unteren Ende der Schnur anbringen und dessen Bewegung entweder durch eine Feder oder durch Magnete

verhindern, so führen Sie damit einen Empfangskondensator ein, und die Ablenkung zeigt das Potential an diesem Punkte des Kabels an, genau so wie dies ein Empfangsapparat thut. Sie müssten eigentlich hier, unterhalb des Spiegels, noch einen vertikalen Draht anbringen, um den Widerstand des Empfängers darzustellen. Wenn Sie alsdann anstatt an einem torsionsfreien Faden die Flügel auch oben an einer Feder aufhängen, so verhält sich die letztere wie ein Sendekondensator; Sie erhalten alsdann eine vollkommene Darstellung der Signale, wie sie durch das Kabel aufgenommen werden, welches Sie mit Ihrer Vorrichtung nachgeahmt haben.

Zweiter Vortrag.

In meinem ersten Vortrag sprach ich den Wunsch aus, in diesem Cyklus mit Hülfe von mechanischen Analogien eine Anzahl von Erscheinungen zu versinnlichen, welche beim Gebrauch von unterbrochenen Strömen und Wechselströmen auftreten, und ich denke, Sie werden bereits gesehen haben, dass, in gewissen Fällen wenigstens, diese mechanischen Analogien für das Verständniss der Vorgänge von sehr grossem Nutzen für uns sind. Auch im heutigen Vortrag beabsichtige ich, überall dieselbe Methode zu verfolgen. Ich schloss den ersten Vortrag, indem ich Ihnen mit Hülfe solcher mechanischer Analogien zeigte, wie wir von den Vorgängen in einem unterseeischen Kabel eine, wie es mir wenigstens erschienen ist, klarere Vorstellung uns zu bilden vermöchten, als es uns ohne solche mechanische Analogien möglich sein würde.

Folgerungen aus den mechanischen Analogien.

Ich möchte Sie jetzt vor allen Dingen nachdrücklichst davor warnen, dass nicht Jemand von Ihnen sich ver-

leiten lasse, aus solchen Analogien zu weitgehende Schlüsse zu ziehen, und ich möchte Sie darauf aufmerksam machen, dass bei der Verwendung derselben eine ziemliche Vorsicht erforderlich ist. Indem man einen Schritt zu weit geht, kann man leicht die richtige Analogie verfehlen, und wird so zu Fehlschlüssen verleitet. Dies ist nicht der Fall beim unterseeischen Kabelmodell, welches ich Ihnen vorgeführt habe. In diesem Fall ist die Analogie, darf ich sagen, fast ganz vollkommen. Nur ein Mangel ist an dieser Analogie, und zwar ein ziemlich unbedeutender: der Widerstand für den Strom wird durch die Reibung mit der Glycerinlösung in dieser langen Röhre dargestellt, innerhalb deren die Schnur tordiert wird, der Strom wird durch die Umdrehungsgeschwindigkeit der Schnur dargestellt. Nun ändert sich aber bei dieser Glycerinmischung die der Bewegung Widerstand leistende Kraft wie das Quadrat der Geschwindigkeit. In der Analogie aber müsste der Widerstand wie die Geschwindigkeit selbst sich ändern. Die Widerstandskraft ändert sich also wie das Quadrat des Stromes anstatt wie der Strom selbst, und das ist der einzige mangelhafte Punkt der Analogie; derselbe ist in der That von sehr geringer Wichtigkeit. Wie Sie alle neulich sahen, hat dieser Umstand keinen Einfluss auf die Vollkommenheit der Wiedergabe der Vorgänge im unterseeischen Kabel. In der That werden diejenigen, welche im Lesen der Zeichen der unterseeischen Kabeldepeschen geübt sind, zugeben, dass dieselben von den durch diesen tordierten Faden wiedergegebenen Zeichen nicht zu unterscheiden sind. Ich sagte im ersten Vortrag nur, dass mich diese Analogien in den Stand setzen würden, bei der Erklärung einiger schwer ver-

ständlicher Erscheinungen den Gebrauch mathematischer Formeln zu umgehen; ich möchte aber sogar behaupten, dass meines Erachtens diese Analogien thatsächlich für den Mathematiker von grösserem Nutzen sind, als für irgend Jemand sonst, weil solche Analogien den Mathematiker in den Stand setzen, einen klareren Begriff von den Grössen, mit denen er sich beschäftigt, zu gewinnen und dieselben so leichter zu handhaben, als er dies sonst zu thun vermöchte. In der That, ich darf sagen, dass Clerk Maxwell in seinem grossen Werk über die Elektrizität blos mit mechanischen Analogien operiert hat, obwohl er dies in dem Buche direct nicht ausspricht. Jedem, der dieses Buch liest, ist es augenscheinlich, dass der Verfasser immer an mechanische Probleme gedacht hat, in dem Bewusstsein, dass die mechanischen Resultate, zu denen er gelangte, ohne weiteres auf die elektrischen Erscheinungen sich übertragen liessen, und dass er nur, anstatt Masse, Arbeitsinhalt und alle jene mechanischen Grössen einzusetzen, sogleich deren elektrische Aequivalente einführte. Das ist vollkommen klar, und wenn irgend ein Beweis dafür nöthig wäre, so liegt derselbe schon in der Erfindung des Ausdrucks „elektrische Verschiebung“, welcher für den Elektriker zunächst ein wenig verwirrend ist; sobald wir uns aber vergegenwärtigen, dass derselbe ein Aequivalent für einen mechanischen Vorgang ist, verschwindet die Schwierigkeit.*)

*) Als Beispiel für die Wichtigkeit mechanischer Analogie für den mathematischen Physiker siehe die Bemerkungen Prof. Larmor's in seiner Abhandlung „A Dynamical Theory of the Electric and Luminiferous Medium“, Phil. Trans. 1894, Part II,

Vorige Woche nun bin ich am Ende meines Vortrags bei der Erklärung des Apparates, von dem ich soeben sprach, ein wenig zu rasch vorwärts gegangen; derselbe giebt aber in so ausserordentlich vollkommener Weise die Vorgänge in einem transatlantischen Kabel wieder, dass ich denselben gern noch ein wenig genauer erklären möchte. Am oberen Ende dieser Schnur habe ich eine Welle mit Führungen oder Stützen, während das Ganze an einer Feder hängt. An der Welle sitzt eine Scheibe mit Flügeln. Hier sind zwei messingene Düsen, durch welche ich einen Luftstrom in der einen oder anderen Richtung blasen und so die Schnur in der einen oder anderen Richtung tordieren kann. Diese Luftströme werden vom Tische aus in Thätigkeit gesetzt. Ich kann in die Röhre blasen, oder ich kann einen Behälter mit Luft benutzen, wie das letzte Mal, und die Drehung nach rechts oder links wird durch die zwei Taster auf dem Tisch ertheilt, welche die Ventile öffnen und die Luft austreten lassen. Die Schnur selbst ist so gewählt, dass sie ein langes transatlantisches Kabel darstellt. Die Art und Weise, in der die Messungen ausgeführt werden, ist folgende. Um einzusehen, dass die Anordnung wirk-

p. 719: „Der Ruhm, mit Erfolg die rein analytische Methode des Energieprinzips zur Erklärung optischer Erscheinungen angewendet zu haben, gebührt Mac Cullagh; er war indessen ausser Stande, eine mechanische Versinnlichung aufzufinden, um so mittels einer Analogie dem Verständniss die Eigenschaften seines Mittels näher zu bringen, und daher ist seine Theorie ziemlich der Vernachlässigung anheim gefallen, weil man annahm, dass sie mit den gewöhnlichen Bethätigungen der Energie unvereinbar sei, wie sie bei materiellen Complexen in Erscheinung treten.“

lich ein Kabel nachahmt, lassen Sie zunächst bei einem bestimmten Druck der Luft die Schnur gleichmässig rotieren. Nehmen wir an, sie mache eine Umdrehung in der Secunde. Bei demselben Druck halten wir alsdann das untere Ende der Schnur fest, oder hindern es mit Hülfe von Magneten an der Bewegung, lassen die Luft mit demselben Druck darauf wirken und zählen, wie viel Torsion die Schnur bekommt. Sie bekommt vielleicht zehn Umdrehungen. Dividieren Sie diese zehn Umdrehungen durch die eine Umdrehung, so liefert Ihnen die Zahl zehn eine Konstante des Kabels; dieselbe definiert in bestimmter Weise die Güte des Kabels, und die Anzahl von Umdrehungen, welche das obere Ende der Schnur machen kann, bestimmt die Kapazität des Kabels als Kondensator. Ich will mich nicht weiter damit aufhalten, Ihnen alle die Beziehungen zu erklären, zu welchen der Apparat eine so äusserst genaue Analogie liefert, weil es ermüdend werden würde. Diejenigen von Ihnen, welche mir bis hierher gefolgt sind und ein besonderes Interesse an den unterseeischen Kabeln haben, werden auch ohnedies bemerken, dass die Analogie, welche hier besteht, eine sehr genaue ist.

Vergleich zwischen den elektrischen Einheiten und ihren mechanischen Analogien.

In der folgenden Tabelle habe ich eine Anzahl von elektrischen Einheiten, wie wir sie wählen können, mit ihren mechanischen Analogien zusammengestellt. Ich habe dies

38 Vergleich zwischen elektr. Einheiten u. mech. Analogien.

in Tabellenform gethan, einfach um mich leichter darauf beziehen zu können. Einige von den zur Probe aufgeführten Einheiten können willkürlich angenommen werden, z. B. Volt und Ampère. Aus diesen ergeben sich alsdann alle anderen Einheiten. Ich habe angenommen, 1 Volt entspreche einem Grammgewicht, welches an einem Radius von 1 Centimeter Länge angreift, 1 Ampère einer Umdrehung in der Secunde. Ein Coulomb ist äquivalent einer Umdrehung; ein Farad ist vorhanden, wenn die Schnur bei einem Druck von einem Grammgewicht eine Umdrehung macht; ein Henry, wenn Sie einen Strom von 1 Ampère haben, welcher im Verlauf einer Secunde unter dem Einfluss seiner eigenen Selbstinduktion gleichmässig bis zu Null abnimmt.

Elektrische Einheiten.		Mechanische Einheiten.	
Potential	. . Volt	Moment der tor-	1 Grammgewicht an
		dierenden Kraft	1 Centimet. Radius
Ladung	. . . Coulomb	Torsion	. . . 1 Umdrehung . .
Kapazität	. . Farad	Torsion f. d. Ein-	1 Umdrehung bei
		heit der Kraft	1 Grammgew. an
			1 Centimet. Radius
Stromstärke	. Ampère	Umdrehungs-	1 Umdrehung pro
		zahl pro Sec.	Secunde
Selbstinduktion	Henry	Trägheits-	156,1 Grammgew.
		moment	. . bei 1 Centimeter
			Radius

Der während dieser einen Secunde ausgeübte, als gleichmässig angenommene Gegendruck ist einem Volt äquivalent — ein solcher entsteht aber durch den Trägheitswiderstand

eines dünnen, cylindrischen Ringes von 1 cm Halbmesser, welcher 156,1 Gramm wiegt*).

Weiter brauche ich jetzt nichts darüber zu sagen. Natürlich könnten diese Einheiten auch geändert werden, und wenn wir uns mit unterseeischen Kabeln beschäftigen wollten, würden wir besser von den obigen ganz verschiedene annehmen. In diesem Falle könnten wir zum Beispiel annehmen 1 Ampère seien 300 Umdrehungen in der Secunde. Wenn wir uns dagegen mit der Uebertragung von Arbeitsleistung von einem Ort nach einem anderen beschäftigen, würden wir, falls wir eine Analogie herzustellen wünschten, wieder andere Einheiten gebrauchen. Wir wählen von Fall zu Fall unsere Einheiten, wie wir sie brauchen.

Die Örsted'schen Entdeckungen und Folgerungen, welche daraus zu ziehen gewesen wären.

Die Hauptentdeckung auf dem Gebiete des Elektromagnetismus wurde im Jahre 1820 von Örsted gemacht,

*) Wenn die Winkelgeschwindigkeit = 1 Umdr./sec in 1 sec gleichmässig bis Null abnimmt, so entspricht dies einer Winkelverzögerung von 1 Umdr./sec², oder, in absoluten Einheiten, von $2\pi \left(\frac{1}{\text{sec}^2} \right)$. Dieselbe ist aber = $\frac{\text{Drehungsmoment}}{\text{Trägheitsmoment}}$
 = $\frac{1 \text{ Grammgewicht} \times 1 \text{ Centim.}}{\mathfrak{I}}$. Hieraus folgt $\mathfrak{I} = \frac{1}{2\pi}$

Grammgew. $\times$ Cent. $\times$ sec².

Soll ein dünner, cylindrischer Ring von 1 cm Radius dieses Trägheitsmoment besitzen, so muss sein Gewicht =

als er zeigte, dass ein elektrischer Strom eine Magnetnadel ablenkte. Nun hätte sich ein mathematischer Physiker auf sein Zimmer zurückziehen und aus diesem einfachen Versuch die Gesammtheit der elektromagnetischen Erscheinungen herleiten können, welche wir jetzt kennen. Er hätte daraus sehen können, dass der Nordpol um den stromführenden Draht in der einen Richtung zu rotieren strebt, der Südpol in der entgegengesetzten. Er würde damit den Faraday'schen Versuch vorausgesehen haben, bei welchem ein Pol in Rotation versetzt wurde; er würde gesehen haben, dass, um diese mechanische Wirkung hervorzubringen, eine gewisse Arbeitsleistung verbraucht wird, und dass dadurch der Strom geschwächt und in den Drähten eine elektromotorische Gegenkraft hervorgerufen wird; er würde gefunden haben, dass ein Draht wie ein Magnet wirkt und folglich, wenn er in geeigneter Weise um einen Kern gewickelt wird, in einem Stück weichen Eisen Magnetismus hervorzurufen vermag.

Faraday und die Induktion.

Die Entdeckung derjenigen von all diesen verschiedenen Erscheinungen aber, auf welche ich heute vor allen Ihre Aufmerksamkeit lenken möchte, ist das Werk Faraday's. Ich

156,1 gr sein, da $\mathfrak{I} = \text{Masse} \times \text{Halbmesser}^2$ und $\text{Masse} = \frac{\text{Gewicht in Gramm}}{\text{Schwerebeschleunigung in cm/sec}^2}$ ist, also P sich aus der

Gleichung bestimmt: $\frac{1}{2\pi} \text{ gr} \times \text{cm} \times \text{sec}^2 = \frac{P \text{ gr}}{981 \text{ cm/sec}^2} \cdot 1 \text{ cm}^2$,

woraus folgt $P = 156,1 \text{ gr}$. D. Uebers.

werde Ihnen dieselbe jetzt ohne Künstelei in ihrer einfachsten und elementarsten Form vorführen. Ich habe hier (Fig. 15) einen einzelnen Draht, welchen ich mit einer Batterie verbinden will, und durch welchen ich plötzlich einen Strom senden kann. In seiner Nachbarschaft, aber ohne ihn zu berühren, habe ich einen andern Draht, welcher mit keiner Batterie verbunden ist, sondern mit dem Galvanometer am anderen Ende des Saales. Was ich Ihnen zu zeigen wünsche, ist, dass in dem Augenblicke, wo ich in dem einen Draht einen elektrischen Contact mache, ein Strom

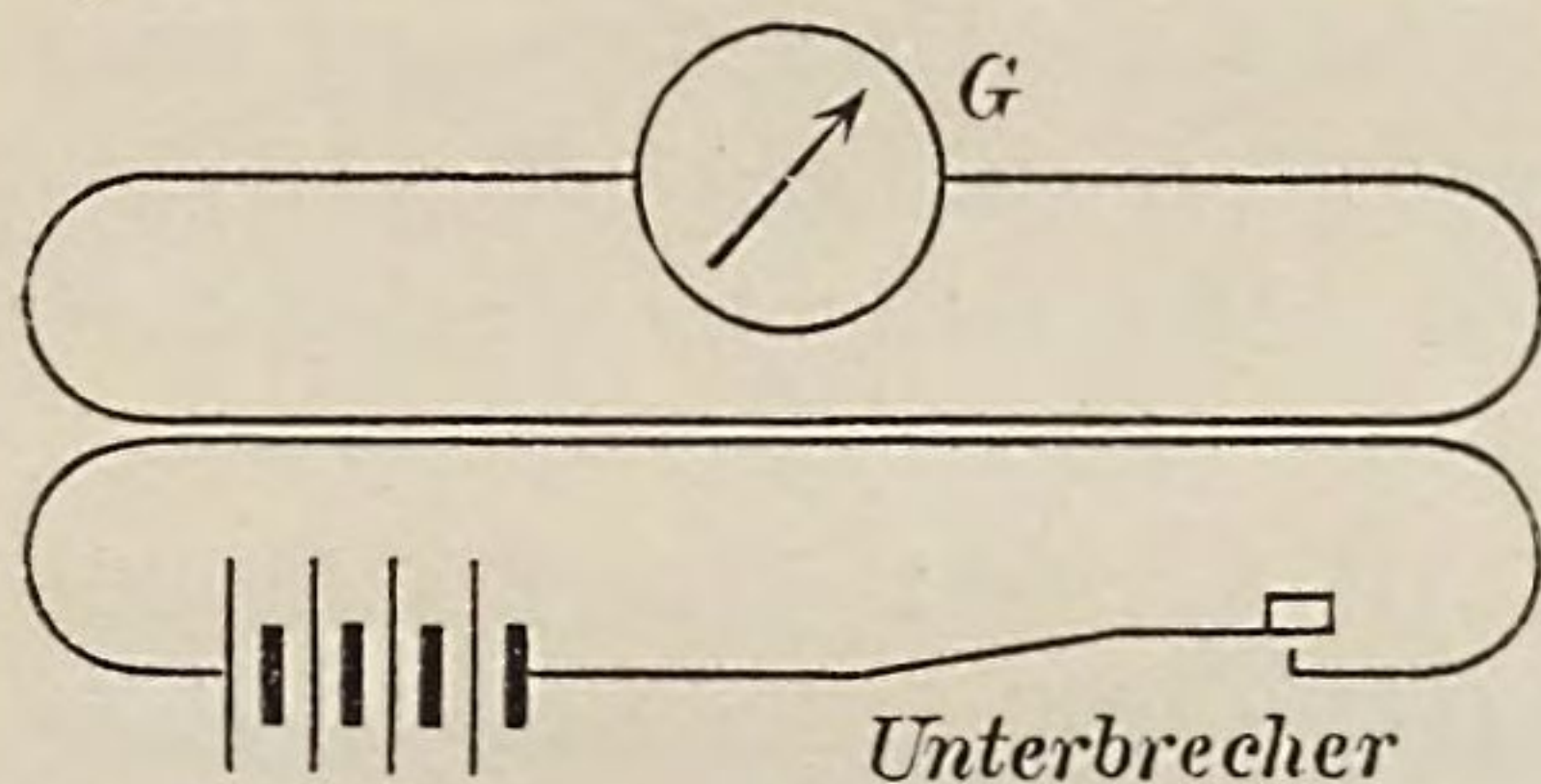


Fig. 15.

von entgegengesetzter Richtung im zweiten Draht erzeugt wird, und dass, wenn ich den Contact unterbreche, ein Strom von derselben Richtung, wie der primäre Strom, entsteht; mit anderen Worten, wir müssen einen Ausschlag des mit dem secundären Draht verbundenen Galvanometers in der einen Richtung bekommen, wenn wir den Strom schliessen, in der entgegengesetzten, wenn wir ihn unterbrechen. Beachten Sie dabei, dass das Galvanometer die Entstehung eines Stromes in demjenigen Draht anzeigt, mit welchem keine Batterie verbunden ist!

Selbstinduktion und Trägheit.

Dieser Vorgang der Induction ist in gewisser Beziehung dem Beharrungsvermögen äquivalent; und zwar darf die Induktion als dessen Aequivalent angesehen werden in Bezug auf ihre Wirkung auf den Strom im primären Draht. Sie erzeugt in dem Draht, durch welchen der elektrische Strom geschickt wird, eine elektromotorische Gegenkraft. Es verhält sich dabei gerade so wie bei der Wirkung, welche entsteht, wenn wir eine Masse in Bewegung setzen: zuerst setzt eine solche ihrer Bewegung einen Widerstand entgegen, und dieser ist eine Folge ihres Beharrungsvermögens und bildet ein gutes Analogon für den inducierten Strom.

Wie Sie sehen, steht jetzt der Lichtfleck auf dem Schirm vollständig still. Ich will in einer bestimmten Richtung einen positiven Strom durch den einen Draht schicken, und der Lichtfleck, welcher den durch den anderen Draht gehenden Strom anzeigt, wird nach rechts abgelenkt. Jetzt will ich den Strom unterbrechen, und der Lichtfleck wandert in der entgegengesetzten Richtung, ein Zeichen, dass ein Strom in der entgegengesetzten Richtung induciert wird, wenn wir den primären Strom unterbrechen. Im secundären Draht entsteht nun ein gewisser Betrag von Arbeitsleistung, welcher natürlich dem primären Draht entnommen worden ist, durch welchen der Strom hindurchgeht, das bedeutet: momentan wirkt eine elektromotorische Kraft gegen den Strom im primären Drahte. Das ist, wie ich schon sagte, der Wirkung des Beharrungsvermögens analog.

Z. B. habe ich hier (Fig. 16) einen Stab mit einem schweren Schwungrad an seinem unteren Ende. Wenn ich demselben mit meinem Finger eine rotierende Bewegung zu ertheilen versuche, so ist zunächst ein Widerstand gegen die Bewegung vorhanden, und zwar ein ganz merklicher Widerstand, und das Rad braucht eine gewisse, wenn auch kurze Zeit, um die gleichmässige Drehung anzunehmen,

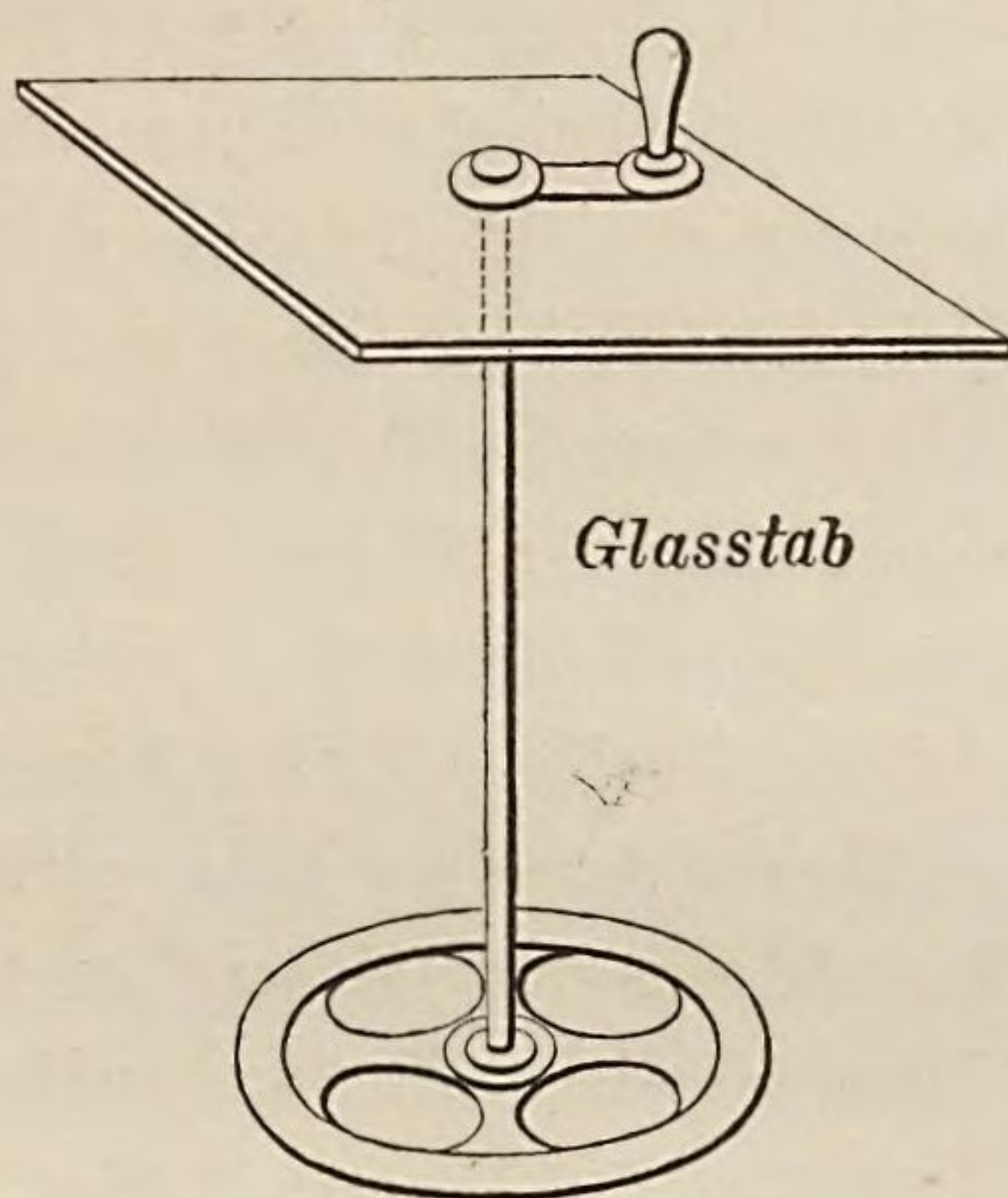


Fig. 16.

welche es im gegebenen Fall schliesslich erlangt. Dieser Widerstand, welchen mein Finger erfährt, entspricht der elektromotorischen Gegenkraft. Wenn ich aber die Vorrichtung einmal in Bewegung gesetzt habe, und sie eine gleichmässige Rotationsbewegung angenommen hat, dann wirkt durchaus keine solche elektromotorische Gegenkraft mehr. Wenn ich das Schwungrad aufzuhalten versuche, fühle ich dessen Wirkung, indem dasselbe meinen Finger mit herum

zu ziehen und seine Bewegung in unveränderter Richtung fortzusetzen sucht. Dieser Versuch giebt uns eine klare Vorstellung von dem was bei der Selbstinduktion vorgeht.

Anwendung der vorangegangenen Versuche auf technische Fragen.

Diese Versuche und Erscheinungen lassen sich ohne Weiteres auf wichtige technische Fragen anwenden. In der Elektrotechnik haben wir es häufig nicht mit Gleichströmen, sondern mit Wechselströmen zu thun, und Sie werden mit Hülfe der Analogie zu ersehen im Stande sein, dass wir in der Induktionswirkung des Stromes einen Faktor haben, welcher zu einem bemerkenswerthen Unterschied in den Wirkungen in diesen beiden Fällen Veranlassung giebt. Wenn ich unter Anwendung einer ganz geringen Kraft am oberen Ende das Schwungrad einmal in Gang gebracht habe, so hat dasselbe keinen Einfluss weiter auf die Rotationsgeschwindigkeit. Angenommen aber, ich versuche jetzt mit einer ebenso grossen vorwärts und rückwärts wirkenden Kraft einen Wechselstrom hervorzubringen. Ich finde, dass ich nicht im Stande bin, dieselbe Geschwindigkeit zu erreichen, dass das Beharrungsvermögen des Schwungrades die Freiheit der Umdrehung ganz wesentlich beeinträchtigt, und mit denselben Mitteln, wie beim Gleichstrom, bin ich nicht im Stande, dieselbe Geschwindigkeit d. h. in meiner Leitung denselben Strom zu erzeugen. Dass dies der Fall ist, will ich Ihnen sogleich mit Hülfe einer Glühlampe nachweisen, welche ein sehr gutes Mittel abgiebt,

um die Stärke eines Stromes kenntlich zu machen. Ich habe hier eine Drahtspule, welche einen richtigen Gramme-Ring bildet, und ich will einen elektrischen Strom erst durch diese, dann durch die Lampe schicken (Fig. 17). Zuerst werde ich einen Gleichstrom benutzen und Ihnen zeigen, dass die Lampe sofort mit der vollen Helligkeit brennt. Dann will ich einen Wechselstrom verwenden und zeigen, dass das Verhalten hier ein ganz verschiedenes ist, weil wir hier in der Selbstinduction dieser Spule eine Art

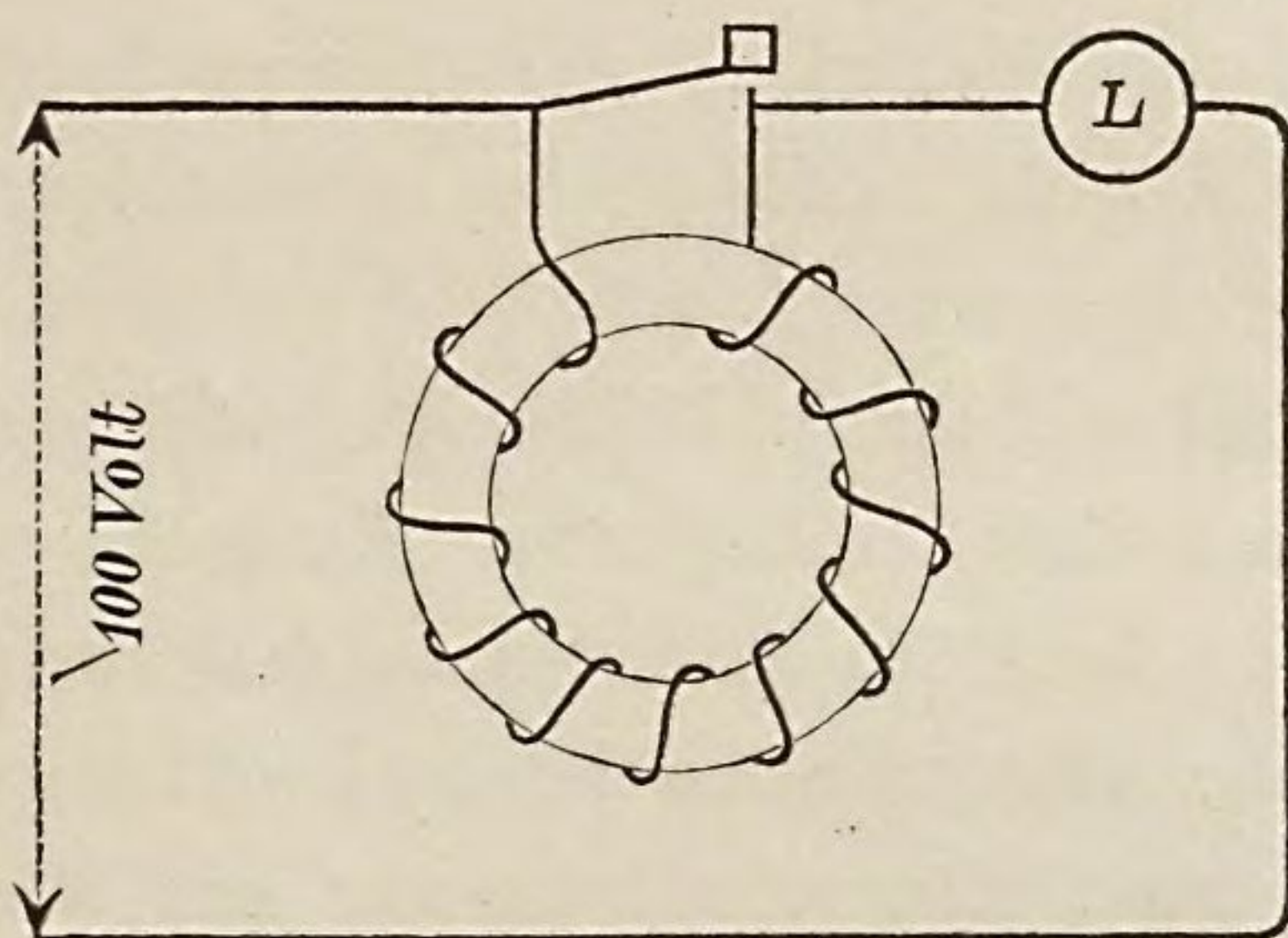


Fig 17.

Beharrungsvermögen des Stromes haben, welches in derselben Weise wirkt, wie das Beharrungsvermögen des Schwungrades, welches ich Ihnen vorführte. Wir wollen es jetzt mit Gleichstrom probieren. Jetzt geht der Strom einfach durch die Drahtspule und die Lampe hindurch, und da es ein Gleichstrom ist, entsteht keine Selbstinduktion und keine elektromotorische Gegenkraft. Wenn ich die Spule kurz schliesse, beobachten Sie in Folge dessen keine merkliche Steigerung des Lichtes der Lampe. Der Widerstand dieser Spule ist in der That sehr gering und hat

keinen Einfluss. Jetzt will ich einen Wechselstrom ansetzen. Ich schalte die Spule mit der Selbstinduktion jetzt zunächst aus und lasse den Wechselstrom direct durch die Lampe gehen: wie Sie sehen, giebt sie dieselbe Helligkeit, wie mit dem Gleichstrom, wenn ich, wie vorhin, 100 Volt Spannung benutze. Ich will jetzt diesen Kurzschluss unterbrechen und den Strom nicht nur durch die Lampe, sondern auch durch die Selbstinductions-Spule gehen lassen, welche wie das Schwungrad wirkt, wenn wir demselben eine schwingende Bewegung zu ertheilen versuchen, und sofort nimmt die Helligkeit der Lampe beträchtlich ab, eine Wirkung der durch die Spule verursachten Schwächung des Stromes.

Zu einem der wichtigsten Hilfsmittel, welche dem Elektrotechniker durch die Faraday'schen Entdeckungen geliefert und auf Grund derselben erfunden worden sind, gehört die Inductionsspule, oder, wie sie jetzt bisweilen genannt wird, der Transformator. Derselbe kann nur mit Wechselströmen benutzt werden. Einen solchen Transformator habe ich hier auf dem Tische. Er besteht aus einem Kern, einem Bündel von Eisendrähten, welches durch die Mitte hindurchgeht, und einer darum gewickelten Drahtspule; diese wird wieder von einer davon getrennten Drahtspule umgeben, und ich werde Ihnen jetzt zeigen, dass, wenn wir die Stromstärke in dem einen Draht ändern, im anderen Draht ein Strom erzeugt wird. In der That giebt der Transformator, nur in vergrössertem Maasse, dieselbe Inductionswirkung, wie sie vorhin die beiden Drähte auf einander ausübten. Letztere vermochten wir nur mit Hülfe des Galvanometers zu entdecken. Die Wirkung des Transformators ist sehr

viel kräftiger. Der Eisenkern ist hier eingeschoben, und anstatt eines einzigen Drahtes sind eine Anzahl von Windungen herum gewunden; beide Mittel aber verstärken die Wirkung bedeutend. Der Transformator ist für die Elektrotechniker von grossem Nutzen gewesen und ist es noch heute, weil er uns in den Stand setzt, einen Strom von einer gewissen Spannung in einen Strom von anderer Spannung umzuwandeln. Wenn wir auf der einen von diesen Spulen eine grosse Zahl von Drahtwindungen haben, auf der anderen eine kleinere Zahl, können wir Hochspannungsstrom in Niederspannungsstrom umsetzen und umgekehrt. Das ist für die elektrische Beleuchtungstechnik von grossem Nutzen geworden, da es uns dadurch möglich gemacht wird, einen Hochspannungsstrom durch einen dünnen Draht auf grosse Entfernungen hin fortzuleiten und denselben dann an der Verbrauchsstelle zu transformieren, wenn dasselbst die Abnehmer des elektrischen Lichtes den Wunsch haben, den Strom in einen solchen von niedriger Spannung transformiert zu erhalten, wie dieselbe für elektrische Lampen geeignet und ohne Lebensgefahr zu handhaben ist.

Wenn dieser Apparat für die elektrische Beleuchtungstechnik von Nutzen geworden ist, so ist er das noch unendlich viel mehr bei der elektrischen Arbeitsübertragung. Als ich zuerst die Aufgabe zu behandeln hatte, von einer Kraftstation an den Niagarafällen aus Energie an beliebige Abnehmer zu vertheilen, mochten dieselben in der Nähe oder weit entfernt wohnen, war das erste, was mich überraschte, der ausserordentliche Unterschied in der Art der elektrischen Ströme, welche die verschiedenen Abnehmer haben wollten. Manche brauchten den Strom zur Beleuchtung,

manche zum Motorbetrieb, manche wollten elektrische Ströme für elektrolytische Prozesse erzeugt haben; manche wollten Gleichstrom haben, manche Wechselströme; manche wollten 100 Volt, manche 50 Volt. Ich will nicht behaupten, dass es unmöglich gewesen wäre, diese Wünsche mit Hülfe von Gleichstrom zu befriedigen, aber dabei würden die Schwierigkeiten sehr gross gewesen sein, und in jedem einzelnen Falle würde es nöthig gewesen sein, einen Motor und eine durch denselben angetriebene Dynamomaschine hinzustellen. Die Beschwerlichkeiten einer solchen Art der Vertheilung würden einfach ungeheuere geworden sein. Und obwohl einige sehr bedeutende Autoritäten — ich darf unter anderen Lord Kelvin anführen, er jetzt fast allein noch — dabei blieben, dass für den genannten Zweck der Gleichstrom am besten am Platze gewesen wäre, bin ich doch erfreut, sagen zu können, dass in jener grossen Anlage der Wechselstrom benutzt worden ist, und jedem, der dabei betheiligt ist, kann nur dazu Glück gewünscht werden, dass wir mit jedem Schritt, den wir mit dem Werk vorwärts gekommen sind, mehr und mehr von seiner Anpassungsfähigkeit in allen den verschiedenen Fällen, welche eingetreten sind, uns haben überzeugen können.

Gegenseitige Induktion.

Bezüglich der gegenseitigen Induktion, wie sie im Transformator stattfindet, so will ich Ihnen jetzt deren Wirkung in einer noch überraschenderen Weise zeigen, als es bei der Verwendung von Wechselstrom möglich ist. Ich will Ihnen zeigen, wie Sie mit dem Gleichstrom, wenn Sie den einen Stromkreis unterbrechen, eine sehr mächtige elek-

tromotorische Kraft im anderen Stromkreis erhalten können. Ich werde einen Gleichstrom von 100 Volt durch die dünn-drähtige Spule dieses Transformators schicken (Fig. 18); ich werde alsdann den Stromkreis plötzlich unterbrechen, und Sie werden beobachten können, dass im Moment der Unterbrechung in der secundären Spule ein Induktionsstrom entsteht, welcher hinreicht, um die in ihren Stromkreis eingeschaltete Glühlampe zum Leuchten zu bringen. Ich

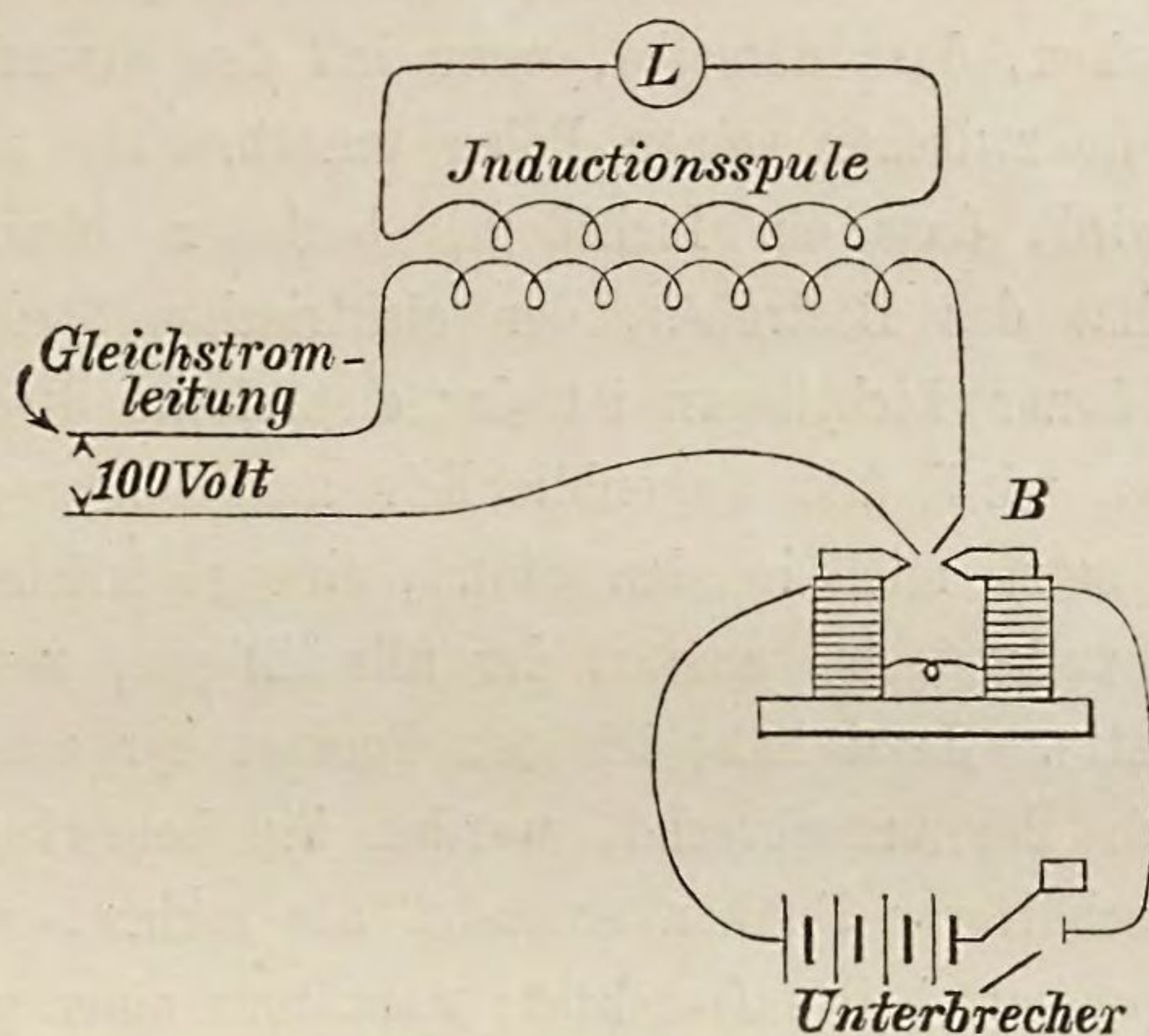


Fig. 18.

will Ihnen diesen Versuch erst vorführen ohne die gewünschte Wirkung zu erhalten, d. h. ohne den Elektromagnet vorher erregt zu haben. Ich habe jetzt den primären Stromkreis geschlossen, und wenn ich denselben unterbreche, wird dies nicht genügen, die Lampe zum Leuchten zu bringen, obgleich ich diesen Stromkreis so rasch wie möglich unterbreche. Die Ursache hierfür ist, dass sich da,

wo ich den Stromkreis unterbreche, ein Lichtbogen bildet, wie Sie bemerken. Das ist gerade so, als wenn ich einen allmählig vergrösserten Widerstand einschaltete, wodurch eine plötzliche Unterbrechung des Stromes verhindert wird; hierdurch wird verursacht, dass die Unterbrechung des Stromkreises allmählig und langsam erfolgt, während es gerade die Plötzlichkeit der Unterbrechung ist, welche das Aufleuchten der Lampe bewirkt.

Jetzt will ich den Elektromagnet erregen, und Sie werden sehen, dass derselbe, wenn ich den Stromkreis an einer Stelle zwischen seinen Polen unterbreche, nicht gestatten wird, dass ein Lichtbogen bestehen bleibt. Der Magnet hat das Bestreben, den elektrischen Strom abzulenken. Jener Lichtbogen ist der elektrische Strom, und der Bogen wird fast augenblicklich ausgeblasen werden; das aber setzt mich in den Stand, eine plötzliche Unterbrechung zu erzielen, anstatt der allmählichen, welche ich vorher hatte. Jetzt habe ich den Contact hergestellt, und sobald ich ihn unterbreche, werden Sie bemerken, dass ein viel schärferer Funken entsteht, als vorher, und dass die Lampe jetzt hell aufleuchtet; wenn man einen genügend kräftigen Magnet benutzt, so ist es in der That möglich, eine sehr rasche Unterbrechung zu erzielen, und, als eine Folge davon, eine hohe elektromotorische Kraft im secundären Kreis.

Diese verschiedenen Induktionserscheinungen, so unterhaltend sie sind, und so viel Nutzen sie dem Elektrotechniker bringen, sind Dinge, welche beim Umgange damit beträchtliche Vorsicht erfordern. Es würden mancherlei Störungen eintreten können, wenn man nicht genügende

Aufmerksamkeit darauf verwendete, und ich will mich jetzt — es mag unnöthig lange erscheinen — mit einigen Analogien beschäftigen, um Ihnen zu zeigen, was eintritt, wenn wir plötzlich einen Stromkreis unterbrechen, welcher grosse Selbstinduktion besitzt.

Clerk Maxwell's Modell zur Versinnlichung der gegenseitigen Induktion.

Indessen ehe ich dies thue, möchte ich Ihnen ein Modell vorführen (es ist mir dies durch die Güte des Herrn Prof. J. J. Thomson möglich geworden), welches von Clerk Maxwell zuerst erdacht worden ist, um die Erscheinung, die ich Ihnen soeben beschrieben habe, nämlich die Erscheinung der Inductionströme in einer secundären Drahtleitung oder Spule zu versinnlichen. Es ist ein sehr lehrreicher und zugleich interessanter Versuch, weil er zeigt, wie Clerk Maxwell in seinem Gedankengang immer an mechanische Vorgänge anknüpfte, als er seine elektrischen Theorien ausbildete.

Ich habe hier, wie Sie beachten wollen, zwei Räder (Fig. 19), eines, welches ich drehe, und ein zweites, an welchem keine Drehung stattfindet. Das eine, welches ich jetzt drehe, stellt den primären Kreis dar, das andere, welches Sie sich nicht drehen sehen, stellt den secundären Kreis dar. Diese Räder sind mit einander verbunden, aber nicht durch eine starre Axe, sondern mittels drei konischer Räder in der Mitte, von denen je eines auf eine der beiden horizontalen Wellen aufgekeilt ist, während das dritte lose auf einer gegen die beiden anderen rechtwink-

ligen Welle läuft, welche den einen von vier Kreuzarmen bildet, die an ihren äusseren Enden schwere Gewichte tragen und daher ein beträchtliches Beharrungsvermögen besitzen, somit jedem Bestreben Widerstand leisten, sie um die

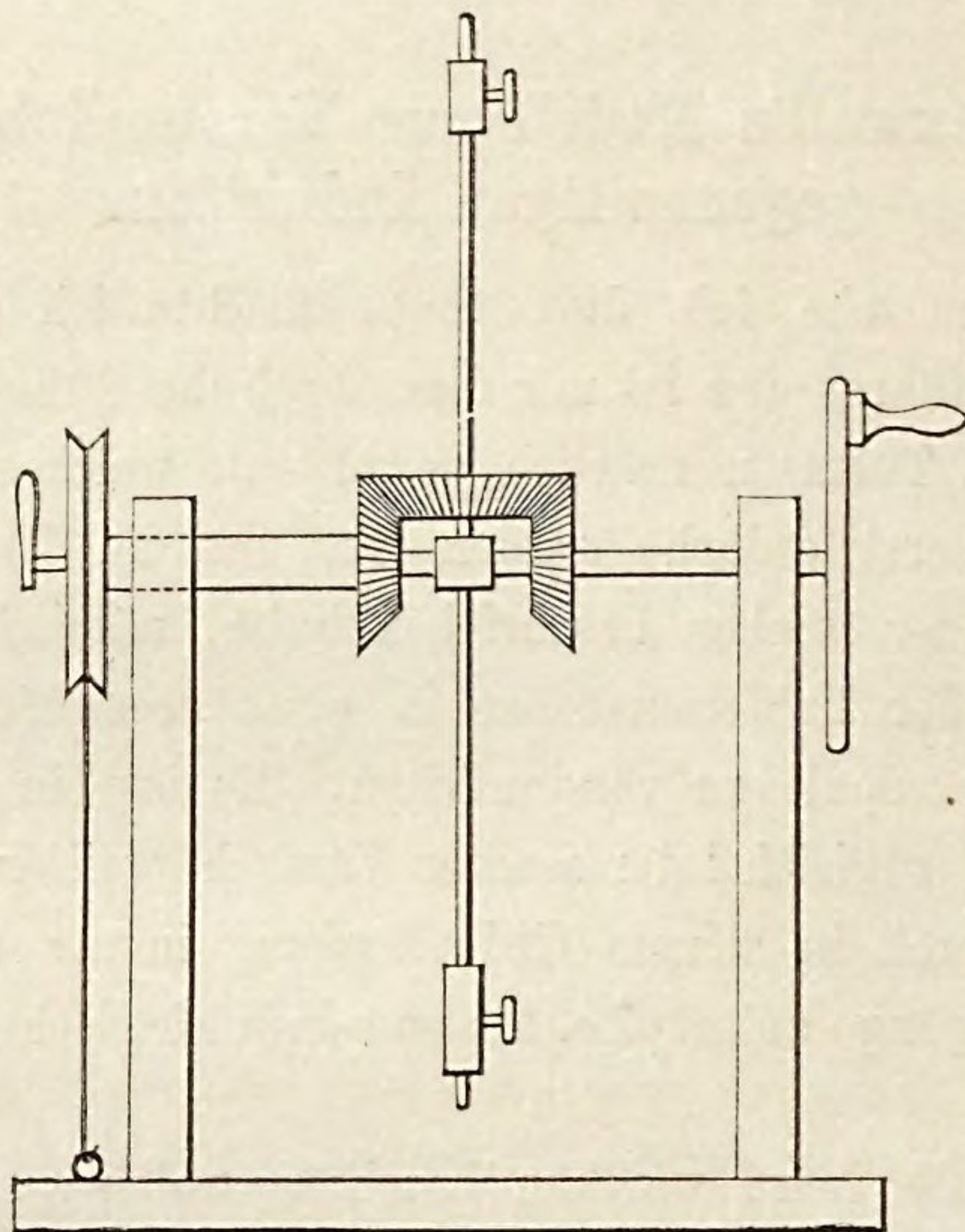


Fig. 19.

horizontale Welle des Handrades in Bewegung zu setzen, auf welcher die Nabe, an der sie befestigt sind, läuft*). Diese Anordnung hat zur Folge, dass das Beharrungs-

*) Das zweite Rad links in der Figur ist ebenfalls drehbar, kann aber durch eine Schnur mehr oder weniger stark gebremst werden.
D. Übers.

vermögen der Kreuzarme, wenn ich diese Kurbel plötzlich zu drehen versuche, dieselben zuerst an der Drehung verhindert, und dass infolge dessen das zweite (linke) Rad in der entgegengesetzten Richtung sich drehen wird, in welcher ich das erste drehe, vorausgesetzt, dass ich letzteres plötzlich genug thue.

Jetzt aber rotieren die Kreuzarme*); wenn ich jetzt das Handrad plötzlich anhalte, dann beginnt das zweite, den secundären Kreis darstellende Rad in derselben Richtung zu rotieren, in welcher sich meine Hand bewegt hat. Dies ist eine sehr schöne Analogie, aber natürlich dürfen Sie dieselbe nicht für mehr als eine rohe Art von Analogie ansehen. Sie ist keine Erklärung. Wenn sie eine Erklärung sein sollte, hätten wir sagen müssen: Ich nehme an, dass dieses hübsch erdachte Räderwerk und diese Kreuzarme mit den Massen an ihren Enden Theile des Äthers sind; diesem Äther wird nun in Wirklichkeit eine Bewegung in der einen Richtung ertheilt, und sobald der Äther in Bewegung gekommen ist, überträgt er dieselbe auf den anderen Draht. Dass der Vorgang in dieser Weise zu einer Erklärung werden könnte, steht natürlich ausser Frage. Dem Mathematiker wird wesentlich geholfen, wenn er eine mechanische Vorrichtung besitzt, mit welcher er das zu veranschaulichen vermag, worauf er mit seinen Theorien hinaus will. Ich erinnere daran, dass Lord Kelvin in den berühmten Vorträgen, welche er 1884 in Baltimore hielt, den Versuch unter-

*) Das linke Zahnrad steht nunmehr still, das Zwischenrad wälzt sich auf demselben, während die Kreuzarme, an denen es sitzt, gleichmässig rotieren, d. h. der Induktionsstrom dauert nur so lange, als der primäre sich noch ändert. D. Übers.

54 Gefahren beim plötzlichen Unterbrechen von Stromkreisen

nahm, eine Theorie des Äthers und des schwingenden, leuchtenden Moleküls aufzustellen, und zwar bildete er damals und in der Folgezeit eine Anschauung vom Äther aus, wonach jeder Theil desselben aus einem Complex von Gyrostaten besteht. Ich erinnere mich noch vollkommen seiner Worte: „Ich glaube nicht, dass der Äther aus Gyrostaten aufgebaut ist, ich bin aber niemals von einer Theorie eher befriedigt, als bis ich eine mechanische Analogie beibringen kann, welche mir genügt. Nachdem wir die mechanische Analogie haben, welche den Bedingungen genügt, können wir sie weiter bearbeiten, um beim Äther etwas ausfindig zu machen, was der Art nach sich analog verhält, wenn es auch in der wirklichen mechanischen Anordnung von ihr verschieden ist.“

Gefahren beim plötzlichen Unterbrechen von Stromkreisen mit grosser Selbstinduktion.

Ich möchte Ihnen jetzt einige von den Analogien vorführen, welche uns die ausserordentlichen Gefahren veranschaulichen helfen, welche in der Praxis entstehen können, wenn wir Stromkreise mit sehr grosser Selbstinduktion plötzlich unterbrechen. In einer Wechselstromanlage, wie die, welche kürzlich an den Niagarafällen errichtet worden ist, ist in der That die Selbstinduktion der Transformatoren eine sehr grosse. Und wenn wir gestatten wollten, dass isolierte Kabel auf beträchtliche Entfernungen hin in die Erde verlegt würden, so würde auch die Kapazität dieser Kabel sehr beträchtlich sein. Die vereinten Wirkungen der Kapazität und der Selbstinduktion würden

viel Störungen herbeiführen, und ich habe mich nach Kräften bemüht, die Kapazität der Kabel zu vermindern und dieselben so zu verlegen, dass sie so wenig Kapazität als möglich besitzen, so dass diese Störungsquelle so viel, als geschehen konnte, beseitigt sein dürfte. Ebenso traf ich die Anordnung, die Periodenzahl der Wechselströme soweit als möglich zu erniedrigen, was ebenfalls sehr dazu beiträgt, die der Kapazität entspringenden Störungen zu überwinden. Auf die Frage der Verminderung der Periodenzahl selbst will ich jetzt nicht weiter eingehen; ich kann aber soviel sagen, dass wir, je weiter wir in den Gegenstand eingedrungen sind, umso dankbarer sind, dass wir die Nothwendigkeit davon bei Zeiten uns vergegenwärtigt und die Periodenzahl bis zu einer Grenze erniedrigt haben, welche früher niemals erreicht worden ist. Es ist dies für uns nicht allein ein sicherer Schutz in unzähligen anderen Beziehungen, sondern es setzt uns das auch in den Stand, Apparate von einer Einfachheit zu benutzen, welche bei höheren Periodenzahlen unmöglich gewesen sein würde.

Lassen Sie uns jetzt, indem wir die Frage der Kapazität bei Seite lassen, einfach mit der Frage der Selbstinduktion uns beschäftigen. Es ist bemerkenswerth, welche grosse Schwierigkeit ich hatte, um die Leute soweit zu bringen, dass sie an die Gefahr glaubten, welche in der plötzlichen Unterbrechung dieser Stromkreise liegt, die so ungeheuer mächtige Selbstinduktionen enthalten; ich habe aber immer und immer darauf bestanden, dass es für den Erfolg jener grossen Anlage am Niagara unumgänglich sei, dass kein Stromkreis, in welchem diese mächtigen Wirkungen der Selbstinduktion thätig sind, jemals plötzlich unterbrochen

werden dürfe. Ich fand Fabrikanten, welche sich einfach auf ihre früheren Erfahrungen beriefen und nicht auf die neuen Bedingungen achteten, die durch die gewaltige Grösse der Maschinen geschaffen wurden. Ich fand fähige Fabrikanten, die unfähig waren, diesen Punkt einzusehen. Sie hatten am Ausschalter, wenn sie den Kreis eines Wechselstromes mit einer gewissen Selbstinduktion unterbrachen, starke Funken beobachtet. Einige hatten die Idee, sie müssten alles thun um dieselben weg zu schaffen. Ihr Bestreben war, die Unterbrechung am Ausschalter so plötzlich als möglich auszuführen, um zu verhindern, dass Funken und Feuerströme daselbst erschienen. Thatsächlich aber brachten sie so die ganze Anlage in Gefahr, indem sie eine enorme elektromotorische Kraft der Selbstinduction hereinbrachten, welche bestrebt war, die ganze Anlage an der einen oder anderen Stelle zu zerstören. Um Ihnen dies anschaulich zu machen, will ich Ihnen ein paar mechanische Analogien vorführen; zuerst will ich die Analogie des fliessenden Wassers wählen, von der ich früher gesprochen habe, welches eine äusserst brauchbare Analogie ist.

Ich habe hier (Fig. 20) eine Röhre, durch welche ich Wasser herabfliessen lassen kann. In der Mitte des abwärts führenden Theils ist eine Öffnung, welche jetzt verschlossen ist. An die Hauptröhre ist ein kurzes Messingrohr seitlich angesetzt, und dieses ist einfach mittels einer Papiermembran verschlossen, welche das Wasser verhindert, daselbst auszutreten. Dieses Stück Papier stellt in dieser Analogie die Isolation des Kabels dar, und was wir jetzt prüfen wollen, ist die dielektrische Festigkeit derselben,

d. h. die Zerreiissungsfestigkeit des Papiers. Wenn dieses Papier nachgiebt, wenn wir plötzlich das Wasser absperren, so ist das dem Fall analog, wo wir, indem wir den elektrischen Strom plötzlich abstellen, die Isolation unserer Kabel

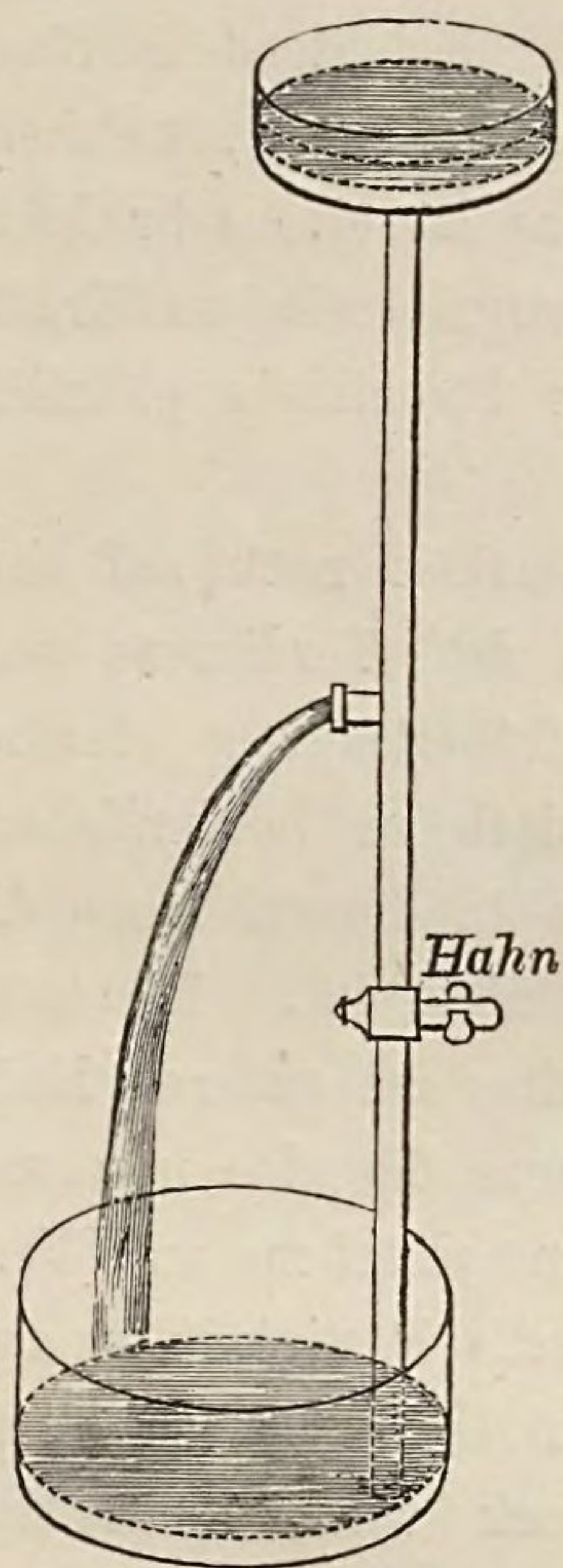


Fig. 20.

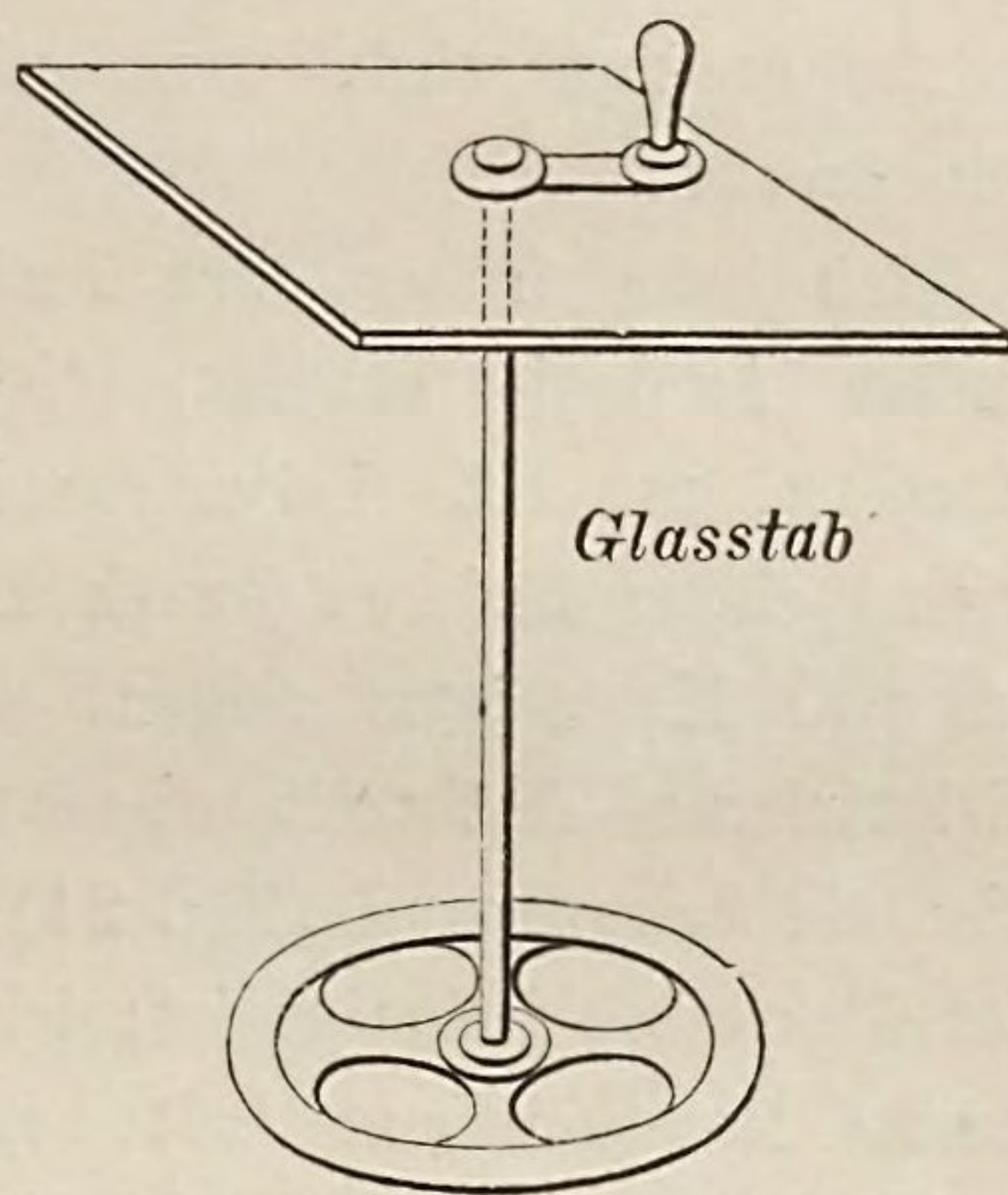


Fig. 21.

oder irgend eines anderen Theils unserer Maschinenanlage der Zerstörung aussetzen. Ich lasse jetzt den elektrischen Strom an. Indem ich den Hahn zudrehe, bin ich im

Stande, den Strom plötzlich aufzuhalten, und sofort sehen Sie, wie das Wasser durch die seitliche Röhre entweicht. Wenn ich jetzt den Hahn wieder öffne, wird natürlich nur ein kleiner Riss da sein, durch welchen ein ganz klein wenig Wasser herauströpfelt; wenn ich aber jetzt den Hauptstrom des Wassers wieder plötzlich absperre, dann wächst augenscheinlich der Druck bis zu einer sehr bedeutenden Grösse und Sie sehen einen Wasserstrahl herausspritzen, welchem ein gleichmässiger Ausfluss folgt. Das ist eine sehr lehrreiche Versinnlichung der hohen elektromotorischen Kraft, welche erzeugt wird, wenn wir den Stromkreis plötzlich unterbrechen.

Ich habe früher Ihre Aufmerksamkeit noch auf eine andere Analogie gelenkt, diejenige des Tordierens von Körpern, um eine Leitung zur Kraftübertragung oder zu irgend einem anderen Zweck mechanisch zu versinnlichen. Ich will Ihnen jetzt zeigen, welches in diesem Sinne die dielektrische Festigkeit dieses Glasstabes ist. Ich habe hier ein Schwungrad (Fig. 21), welches am unteren Ende des Glasstabes befestigt ist; ich versetze dasselbe in etwas rasche Rotation und halte es dann plötzlich an [Versuch]: Sie sehen, dass die dielektrische Festigkeit meines Leiters nicht hinreichend war, den Druck auszuhalten, der Stab ist zerbrochen. Der Druck wird durch das Beharrungsvermögen oder durch den Arbeitsinhalt des Schwungrades hervorgebracht, d. h. ins elektrische übertragen, durch die Selbstinduktion, sagen wir, des Transformators. Ich will jetzt einen anderen Stab einsetzen und Ihnen zeigen, wie wir den Eintritt solcher unglücklicher Zufälle verhindern können; dies geschieht einfach, indem

wir niemals den Stromkreis plötzlich unterbrechen. Indem wir einen allmählig wachsenden Widerstand einschalten, ist das Beharrungsvermögen des Schwungrades nicht im Stande, augenblicklich seinen vollen Stoss auszuüben, wir haben eine allmähliche Abnahme der Bewegung, und das Dielektrikum ist im Stande, den Druck auszuhalten. Um dies zu zeigen, brauche ich das Rad blos, nachdem ich es in Rotation versetzt habe, mit den Fingern anzufassen und allmählig in etwa einer Secunde zur Ruhe zu bringen. Ich habe es jetzt zur Ruhe gebracht, ohne dass wir einen im geringsten übermässigen Druck auf die Isolation ausüben.

Daraus schliessen wir, dass Sie bei einer ausgedehnten und mächtigen Anlage, um die zu plötzliche Unterbrechung des Stromkreises zu verhindern, einen Ausschalter haben müssen, welcher Sie in den Stand setzt, allmählig einen Widerstand einzuschalten, ehe Sie den Stromkreis ganz unterbrechen. Damit würde alsdann die ganze Gefahr für die Isolation der Anlage vollständig beseitigt sein.

Ich habe Ihnen nun diese beiden Analogien geboten, weil ich aus eigener Erfahrung weiss, dass, je mehr Analogien wir haben, um so grösser die Hülfe für uns ist. Ich weiss, dass ich selbst immer die grösste Unterstützung gefunden habe, wenn ich solche Probleme in eine mechanische Form übersetzte; dies hilft immer gewisse Wirkungen, welche eintreten können, voraussehen, und befähigt einen dann, seine mathematischen Formeln darauf anzuwenden. Ich möchte nämlich nicht so verstanden werden, als ob man mit diesen Analogien sich von der Anwendung der Mathematik frei machen könnte. Man kann damit die qualitativen Ergebnisse recht gut veranschaulichen; wenn wir

aber zur quantitativen Seite kommen, ist unser einziger zuverlässiger Diener die Mathematik.

Transformator bei offenem Kreis. — Verzögerung des Stromes.

Wenn wir einen Wechselstrom durch einen Transformator schicken wollen, können zwei Fälle in Betracht kommen: der eine, wo die ganze Leistung aufgebraucht wird, indem zum Beispiel die secundäre Spule des Transformators mit der vollen Lampenzahl belastet ist; der andere, wo keine Lampen daran angeschlossen sind, wo der secundäre Kreis überhaupt keinen Strom verbraucht. Im letzteren Fall geht immer noch ein merklicher Strom durch die Primärspule des Transformators, und die Frage ist, was wird damit? Brauchen wir einen grossen Effektaufwand im Transformator, wenn die Lampen nicht angeschlossen sind? Nein wir brauchen keinen beträchtlichen Aufwand, nur einen gewissen. Die durch die Selbstinduktion der primären Spule des Transformators erzeugte Selbstinduktion schwächt die Wirkung, wenn der Transformator keine Arbeit leistet, weil dann die elektromotorische Kraft, welche in der primären Spule angewendet wird, mit der elektromotorischen Gegenkraft der Selbstinduktion in entgegengesetzter Phase ist. Der Strom, welcher mit der der primären Spule zugeführten elektromotorischen Kraft in der Phase nahezu übereinstimmt, wenn der Transformator voll belastet ist, bleibt jetzt, wenn keine Arbeit geleistet wird, hinter der elektromotorischen Kraft zurück, ein Umstand, welcher im Transformator bei offenem Kreis den Effektverbrauch noch weiter vermindert.

Was bedeutet die Verzögerung des Stromes gegen die elektromotorische Kraft? Ich habe hier ein Modell (Fig. 22), welches besser ausgefallen wäre, wenn ich mehr Zeit dazu gehabt hätte, es wird aber das erkennen lassen, was ich Ihnen zu zeigen wünsche. Ich habe ein Rad, welches auf einer Welle sitzt; ich habe ferner zwei Gewichte, von denen das eine, wenn es sinkt, das Rad in der einen Richtung in Drehung versetzt, das andere in der entgegengesetzten Rich-

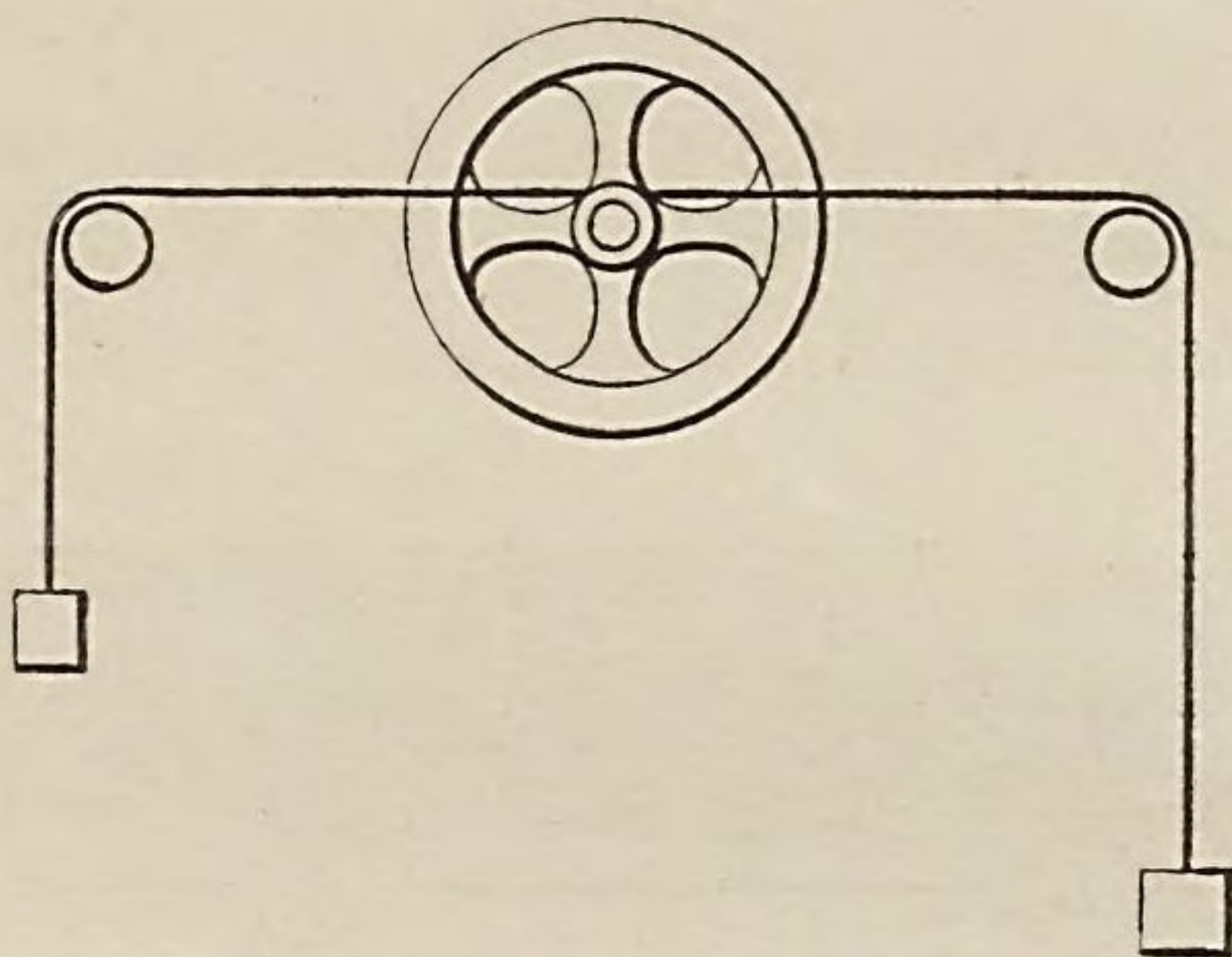


Fig. 22.

tung. Ich möchte Ihnen nun zeigen, dass, wenn ich eine dieser Kräfte weiter zu wirken verhindere, das Beharrungsvermögen des Rades dasselbe in der nämlichen Richtung weiter treibt, in welcher es eben gelaufen ist; obwohl eine entgegengesetzt gerichtete elektromotorische Kraft wirkt, dreht sich das Rad in der ersten Richtung weiter. Sie werden die Analogie verstehen, welche ich Ihnen damit vorzuführen wünsche. Ich lasse jetzt die elektromotorische Kraft, oder das Gewicht, rechts wirken: dasselbe setzt das

Rad in Bewegung. Ich halte es an: das andere Gewicht steigt noch, wie sie sehen, eine ganze Weile, d. h. der Strom bleibt hinter der elektromotorischen Kraft zurück. Ich könnte eine elektromotorische Kraft abwechselnd erst in der einen, dann in der anderen Richtung wirken lassen, immer würde die Bewegungsenergie des Schwungrades während eines Theiles der Zeit dem Gewicht entgegen nach aufwärts ziehen.

Um diese Verzögerung des Stromes zu demonstrieren, will ich Ihnen jetzt einen sehr interessanten Versuch vor-

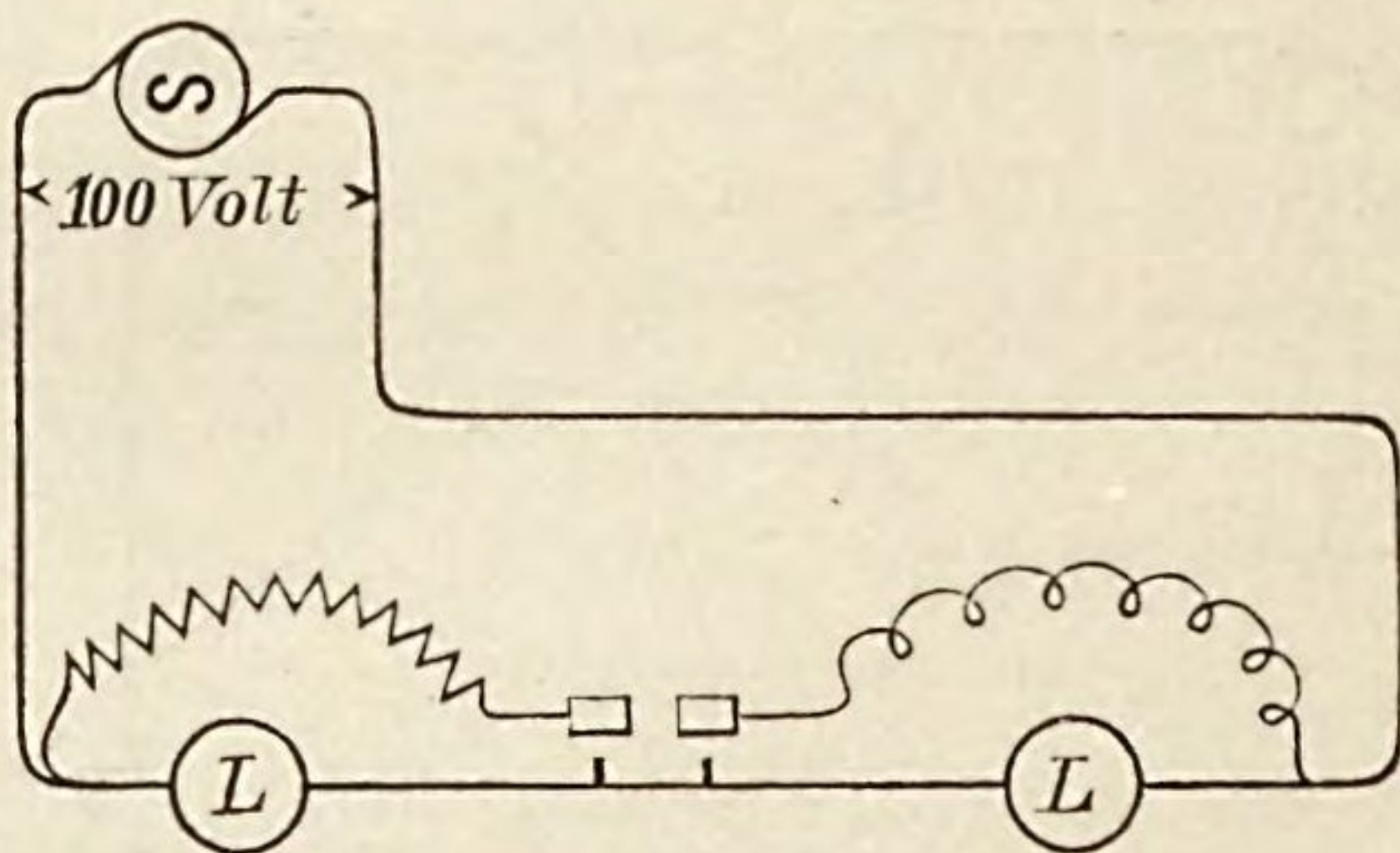


Fig. 23.

führen. Derselbe ist vor einigen Jahren von Herrn S. W. Smith in Prof. Ayrton's Laboratorium zuerst ausgeführt worden. Ich habe hier zwei in Reihe geschaltete 55 Volt-Lampen (Fig. 23), welche von einer Wechselstromquelle von 100 Volt gespeist werden sollen. Ich werde einen Wechselstrom durch dieselben hindurchgehen lassen, und Sie werden sehen, dass sie ziemlich dunkel erglühen. Alsdann werde ich diese Selbstinduktionsspule mit hohem Widerstand als Nebenschluss an die eine von den Lampen legen, an

die andere einen ebenso grossen, induktionsfreien Widerstand. Der Unterschied zwischen den beiden Versuchsanordnungen ist folgender: Im ersten Falle lasse ich einen Wechselstrom durch die beiden Lampen in Serie hindurchgehen und bekomme nur eine sehr geringe Leuchtkraft. Ich schaffe alsdann neben der einen Lampe dem Strom einen Nebenweg mit Selbstinduktion, neben der anderen einen solchen ohne Selbstinduktion, und Sie werden sehen, wie die Lampen heller werden [Versuch]. Die Ursache davon ist, dass wir es mit einer elektromotorischen Zusatzkraft zu thun haben, welche ausser der von dem städtischen Leitungsnetz, dessen ich mich bediene, gelieferten wirksam ist. Diese elektromotorische Kraft ist ebenfalls bestrebt, elektrische Ströme entstehen zu lassen, und ist in der Phase gegen die vom städtischen Leitungsnetz gelieferte elektromotorische Kraft verzögert; infolge dessen werden diese beiden Lampen von zwei Strömen in verschiedenen Phasen zum Leuchten gebracht, von denen der eine sein Maximum erreicht, wenn der andere nahezu im Minimum ist. Natürlich können wir das nicht sehen, weil die Maxima und Minima jede Secunde etwa 150 Mal kommen. Dadurch also, dass wir zu diesen beiden Lampen Nebenwege schaffen, sind wir thatsächlich im Stande, eine grössere Helligkeit zu erzielen, als wenn der ganze Strom direct durch sie hindurchgeht. Natürlich entnehmen wir in diesem Falle den Leitungen viel stärkere Ströme als vorher, wir sind aber thatsächlich durch Einführung dieser Spulen im Stande, die Helligkeit der Lampen zu steigern.

Die Phasenverzögerung des Stromes gegen die elektromotorische Kraft ist die Ursache für viele merkwürdige Erscheinungen, welche von Prof. Elihu Thomson in Amerika

entdeckt worden sind. Ich habe hier einen Elektromagnet, welchen ich mittels eines Wechselstromes magnetisieren will. Er besteht aus einem von einer Spule umgebenen Eisendrahtbündel. Ich will Ihnen zeigen, dass der Elektromagnet eine Abstossung auf in seine Nähe gebrachte Leiter ausübt. Selbstverständlich werden die durch den Wechselstrom bewirkten periodischen Veränderungen des Elektromagnetismus, wie ersichtlich, in einem Ring oder einem andern in die Nähe gebrachten Metallstück Induktionsströme hervorrufen. Man sollte aber zunächst denken, dass diese Ströme gerade in dem Augenblick am stärksten sein würden, wo im Eisenkern überhaupt kein Magnetismus ist, und dass sie daher im übrigen einmal im positiven, das andere Mal im negativen Sinne wirken würden, sodass einmal Abstossung, einmal Anziehung stattfände, und zwar beide male von gleicher Stärke. Das würde auch der Fall sein, wenn der Strom nicht verzögert wäre; das Gegentheil aber tritt ein, lediglich, weil der Strom gegen die durch die Kraftlinien des Elektromagnets inducierte elektromotorische Kraft verzögert ist. Da die Anziehung oder Abstossung, sagen wir eines Ringes, in jedem Augenblick dem Product aus der Stärke des magnetischen Feldes in die Stärke des inducierten Stromes proportional ist, würde die erstere während jeder Periode ebensogross sein, wie letztere, wenn der Ring keine Selbstinduktion besässe und daher keine Phasenverzögerung; denn die inducierten Ströme wären alsdann um 90° in der Phase gegen das magnetische Feld verzögert. Wenn aber im Ringe, wie dies nothwendig der Fall sein muss, Selbstinduktion ist, dann bleiben die inducierten Ströme um mehr als 90° gegen das magnetische Feld in der Phase zurück,

und alsdann ergibt sich, wenn man die Producte aus den Stärken beider bildet, dass immer während jeder Periode ein ausgesprochenes Ueberwiegen der abstossenden über die anziehenden Wirkungen stattfindet; die Anziehung ist im Vergleich zur Abstossung wirkungslos geworden. Am überraschendsten ist der Versuch mit einem Aluminiumring, wegen dessen guter Leitungsfähigkeit und Leichtigkeit (Fig. 24). Sie sehen, sobald ich den Strom schliesse, wird der Ring ziemlich hoch in die Luft geworfen.

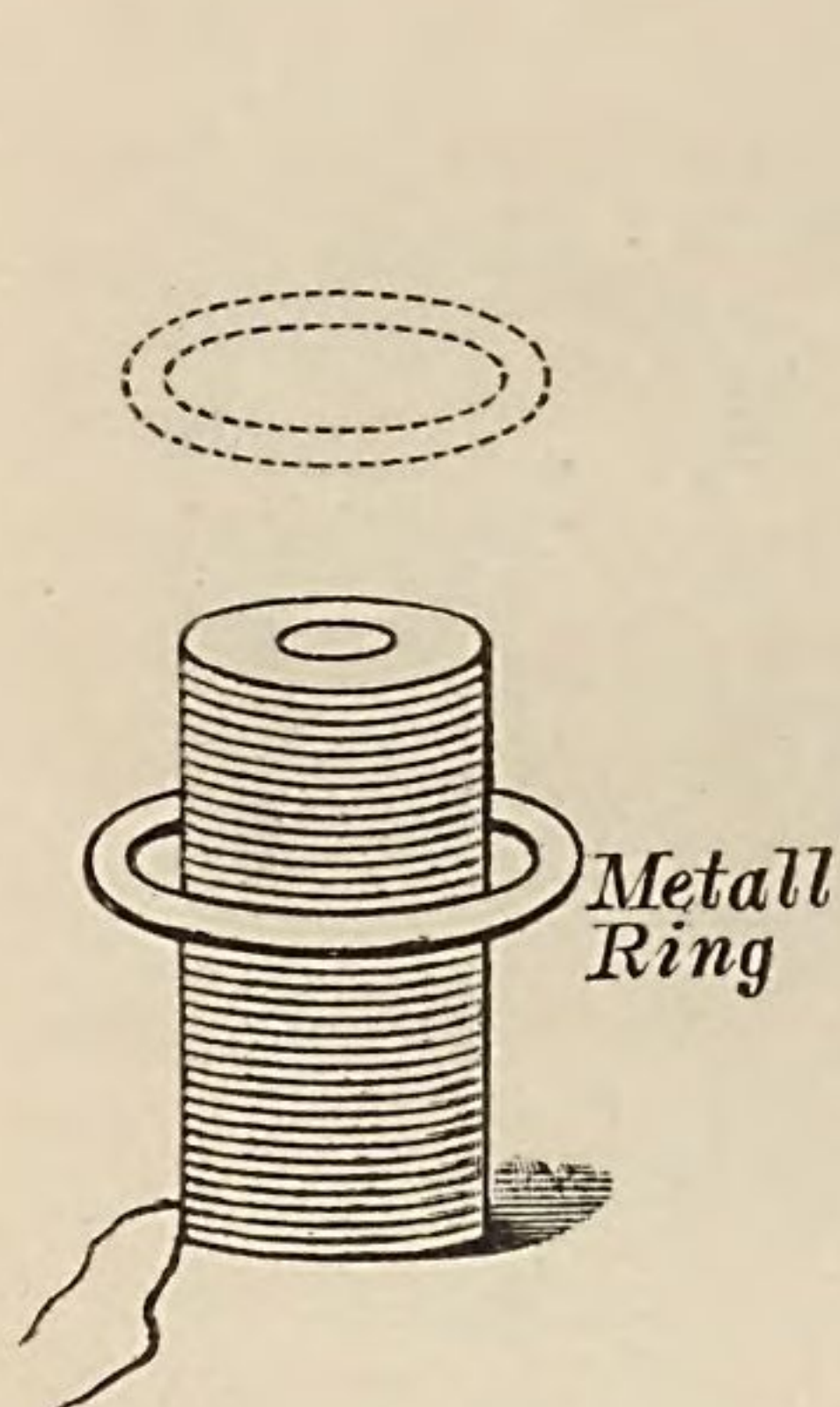


Fig. 24.

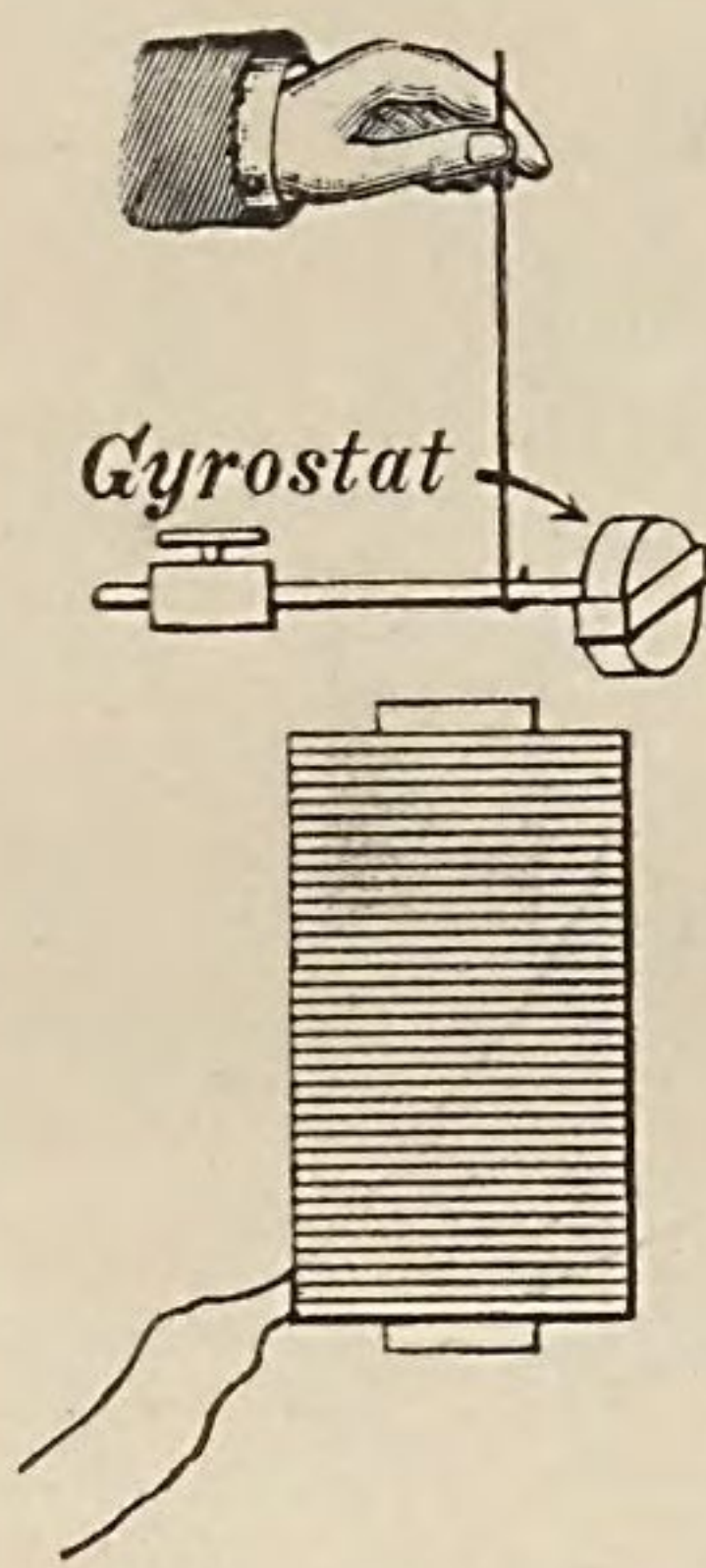


Fig. 25.

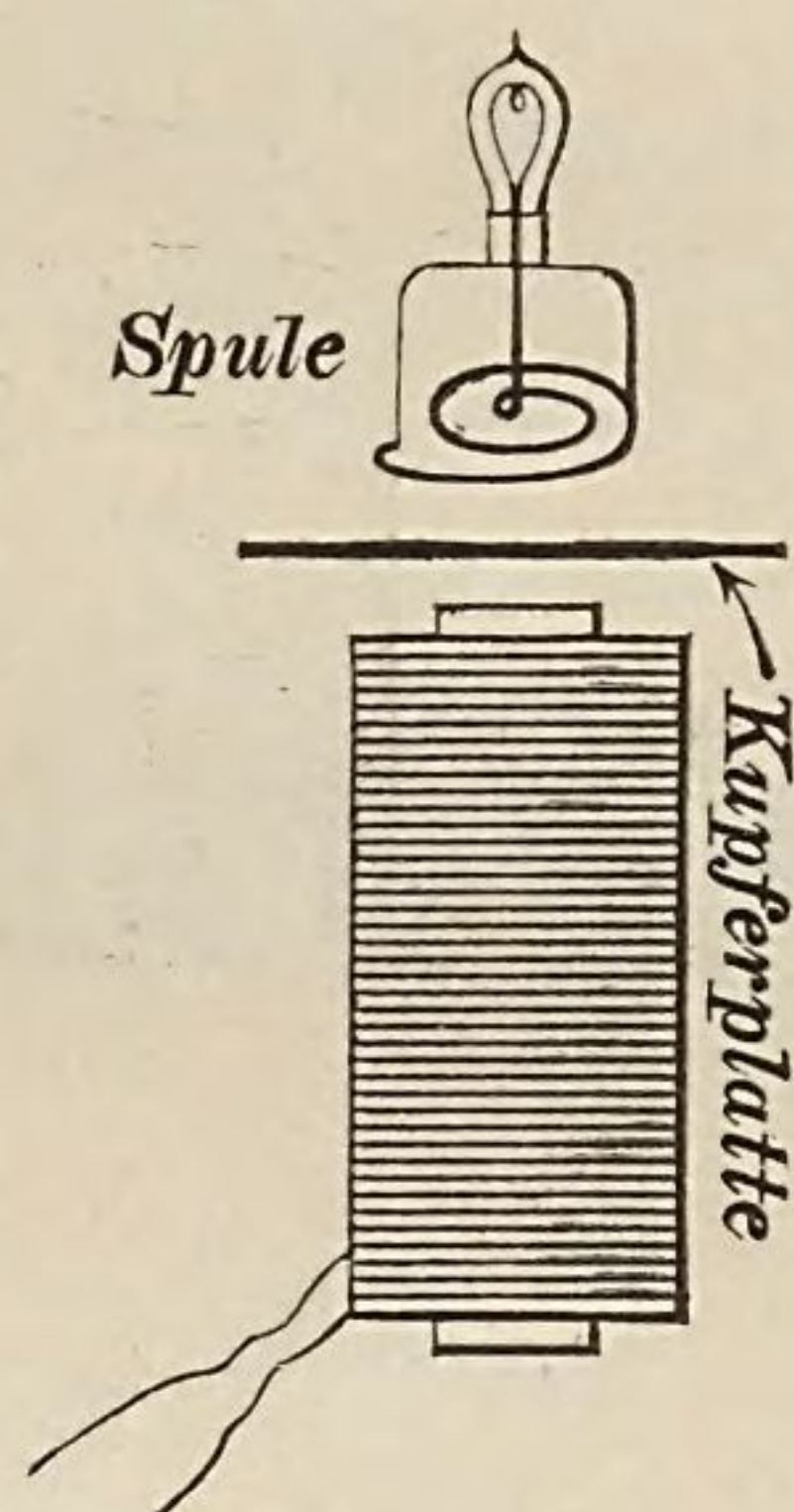


Fig. 26.

Ich will Ihnen jetzt denselben Versuch mit einem Kupfer-ring vorführen, welcher viel schwerer, aber dafür ein ausserordentlich guter Leiter ist. Sie werden sehen, er wird nicht ganz so hoch steigen, wie der Aluminiumring. [Versuch].

Ferner will ich Ihnen zeigen, dass bei schlechter leitenden Stoffen keine so starke Wirkung stattfindet. Dies ist ein

Zinkring, und Sie werden finden, dass er keine so grosse Höhe erreicht. [Versuch].

Ich habe hier einen Messingring, welcher ein noch schlechterer Leiter ist: derselbe wird möglicher Weise gerade eben noch über die obere Kante des Elektromagnets geschleudert werden, aber nicht weiter. [Versuch].

Hier (Fig. 27) ist ein mit zwei Fäden an einem Stück Holz fest gebundener Ring, welchen ich über dem Magnet

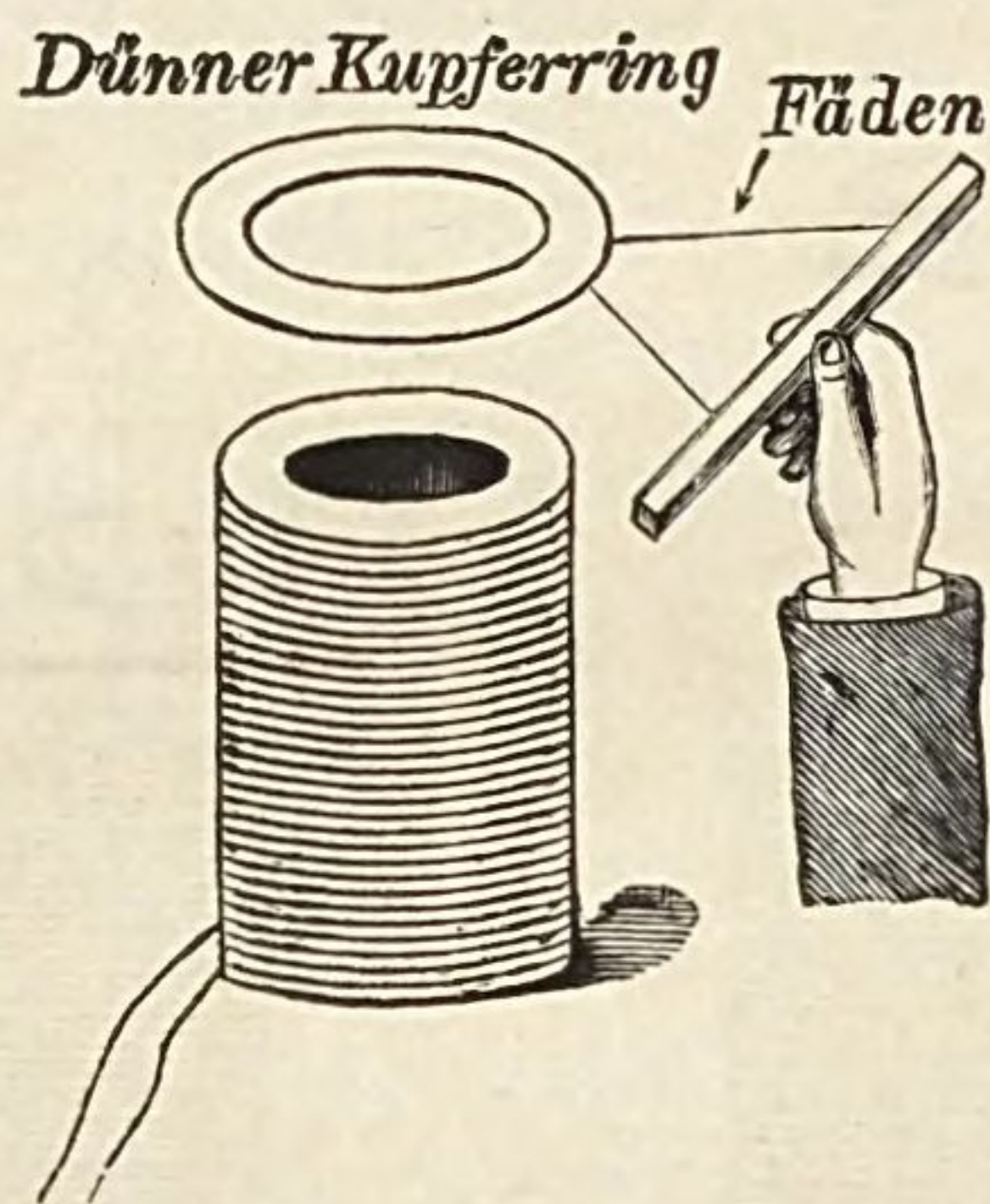


Fig. 27.

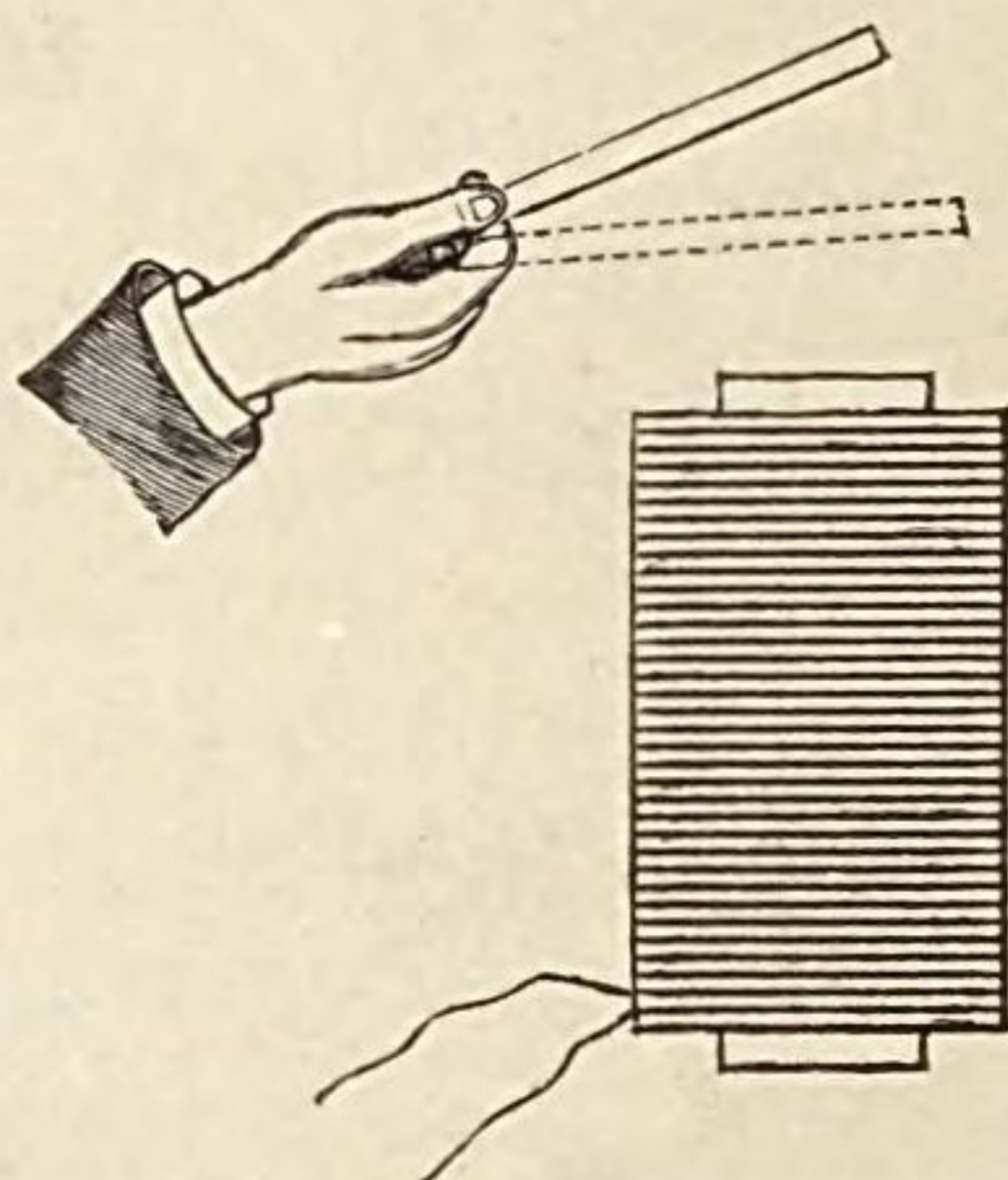


Fig. 28.

schwebend erhalten kann. [Versuch]. Der Ring wird natürlich in ganz kurzer Zeit eshr heiss, infolge der ausserordentlichen Energiemenge, welche in ihm verbraucht wird.

Ich kann Ihnen noch ein paar andere Versuche vorführen. Hier (Fig. 25) haben wir einen Gyrostat, welcher aus einem eisernen Rad mit einem dicken Kupferkranz besteht, welches durch die inducierten Ströme magnetisiert wird. Die Axe wird von einem das Rad umgebenden kupfernen

Rahmen getragen. Hierdurch wird bewirkt, dass die Phasenverzögerung des Stromes in Wirksamkeit tritt, und der Gyrostat in kontinuierliche Drehung versetzt wird. Hier also sehen Sie Professor Thomson's Elektro-Gyrostat, von dieser merkwürdigen Kraft in Umlauf gesetzt [Versuch]. Der genannte Gelehrte hat zur Veranschaulichung dieser Thatsachen noch eine grosse Zahl verschiedener Anordnungen ersonnen, mittels deren man mannigfaltige Wirkungen erhalten kann. Ich bin im Stande, diese Lampe zum Leuchten zu bringen (Fig. 26), kann aber mittels dieser Kupferplatte eine Schirmwirkung auf sie ausüben. Es ist schwer, die Platte zwischen die beiden Spulen zu bringen, weil die abstossende Kraft so gross ist. [Versuch]. Wenn dieselbe aus einem schlecht leitenden Material bestanden hätte, würde sie es nicht so gut gethan haben, aber da sie ein guter Leiter ist, fängt sie die magnetischen Kraftlinien auf und verhindert dieselben, durch die Spule zu gehen. Die magnetischen Kraftlinien, anstatt gerade aufzusteigen, biegen sich krumm.

Endlich will ich Ihnen die Wirkung zeigen, wenn ich eine Kupferplatte auf den Pol zu bringen versuche (Fig. 28). Ich kann damit nicht auf den Pol schlagen: er wirft dieselbe immer von sich zurück infolge der durch die inducierten Ströme verursachten Abstossung. [Versuch].

Dritter Vortrag.

Oft merkt am Schluss eines Vortrages der Vortragende, dass er sich mit seiner Zeit verrechnet hat, und dass er über manche Gegenstände rascher hinwegzueilen muss, als er ursprünglich beabsichtigte. Um dies heute zu vermeiden, werde ich am Anfang einige Worte sagen, welche ich sonst am Ende des Vortrags gesagt hätte, lediglich aus dem eben genannten Grunde. Im Verlauf dieser Vorträge bin ich in der Lage gewesen, Ihnen aus verschiedenen Zweigen der Elektrizitätslehre einige interessante Versuche vorzuführen, desgleichen gewisse merkwürdige Erscheinungen, welche damit zusammenhängen. Ich möchte Ihnen nun erstens sagen, dass an allen diesen Versuchen nichts originales oder neues ist, sie veranschaulichen lediglich wohlbekannte Thatsachen; zweitens, dass ich allen denen zu grossem Danke verpflichtet bin, welche mir hierbei geholfen haben, und zwar fühle ich mich besonders Herrn Campbell Swinton gegenüber vielen Dankes schuldig, welcher mir diese Induktionsspule und viele von den Apparaten, welche Sie vor sich sehen, und von denen ich einige heute gebrauchen werde, zur Verfügung gestellt hat. Ich möchte auch Herrn Dr. Alexander

Muirhead für die verschiedenen Anschauungsmittel aus dem Gebiete der unterseeischen Kabeltelegraphie meinen Dank ausdrücken, ebenso meinem Assistenten, Herrn Mitchell, Herrn Stanton und Herrn Edgar, welche die Mühe der Vorbereitungen zu diesen Vorträgen wie ein Vergnügen, nicht, was es eigentlich gewesen ist, wie eine Arbeit übernommen haben.

Wenn ich mit manchen von den Darstellungen, welche ich Ihnen von den Analogien zwischen elektrischen und mechanischen Erscheinungen gegeben habe, etwas vorgebracht habe, was von der Ihnen geläufigen Anschauungsweise sich unterscheidet, so ist das nur das Resultat einer naturgemässen Deutung der mathematischen Formeln, durch welche die Erscheinungen dargestellt werden. Dieselben Formeln gelten ebensowohl für die mechanischen Erscheinungen, wie für die elektrischen, es schien mir aber bei dieser Gelegenheit passend, nicht mathematische Ausdrücke zu gebrauchen, um die elektrischen Erscheinungen darzustellen, sondern dafür die entsprechenden mechanischen Erscheinungen vorzuführen.

Praktischer Nutzen von Analogien.

Von diesen Analogien nun, welche ich benutzt habe, möchte ich, ehe wir weiter gehen, gern in Ihnen die Ueberzeugung erwecken, dass mehr daran ist, als die blos äusserliche Aehnlichkeit, welche ich Ihnen gegenüber im Verlauf dieser Vorträge besonders hervorgehoben habe; diejenigen, welche an den Anwendungen der Elektrizität ein tieferes Interesse haben, werden leicht sehen, dass in der Ausführung dieser Analogien und in der Bemühung, sich die bei gewissen elektrischen Erscheinungen auftretenden

Vorgänge daran klarer zu machen, viel nützlicher Stoff zum Nachdenken geboten ist.

In der Tabelle, welche ich Ihnen im letzten Vortrag brachte, gab ich Ihnen ein Beispiel der Art und Weise, wie wir die Einheiten wirklich messen können, wenn wir uns zur Darstellung des elektrischen Stromes der Torsion eines Stabes oder anderen Gegenstandes bedienen wollen. Ich möchte dazu bemerken, dass ein Ingenieur, welcher bei irgend einem elektrischen Problem, welches ihm entgegentritt, wie z. B. bei der Fortpflanzung der Elektrizität in einem Kabel von den Niagarafällen nach Buffalo, zu untersuchen wünscht, ob bei den elektrischen Erscheinungen Störungen zu erwarten sind, sich unter Zugrundelegung der Einheiten in der Tabelle nur ein Kabelmodell anzufertigen braucht; er wird dann im Stande sein, mit demselben die wirklichen Vorgänge im Kabel nachzuahmen, und sehen, ob irgend welche besonderen mechanischen Erscheinungen auftreten; deren Analogie mit den elektrischen Wirkungen wird er verfolgen können und wird so im Stande sein, zu erkennen, welche Art Störungen ihm wahrscheinlich entgegentreten werden. Das ist aber, wie ich glaube, eine Sache von grösster Wichtigkeit; es kam mir jedoch mehr darauf an, als ich diese Analogien in den Cyklus meiner gegenwärtigen Vorträge mit aufnahm, Winke zu geben, als die Analogien vollständig durchzuführen. Die vollständige Ausführung derselben würde für diese Vorträge kein geeigneter Gegenstand gewesen sein, ich hoffe aber bei anderer Gelegenheit Zeit zu finden, einige derselben vollständiger durchzuführen, und damit denen einen Dienst zu leisten, welche mit ähnlichen Aufgaben, wie die oben angeführte, beschäftigt sind.

Weitere Wechselstrom-Erscheinungen.

Im ersten Vortrage beschäftigte ich mich hauptsächlich mit der Kapazität und deren Einfluss auf Wechselströme und unterbrochene Ströme, und naturgemäss fanden sich die interessantesten Erscheinungen der Wirkungen der Kapazität beim unterseeischen Kabel. Im vorigen Vortrag beschäftigte ich mich hauptsächlich mit der Selbstinduktion, und ich zeigte Ihnen, wie in Fällen, wo wir Selbstinduktion haben, unter Umständen gewisse Störungen auftreten konnten, und setzte Ihnen auseinander, dass dies bei beiden Arten von Strömen geschehen könnte, gleichgültig ob wir Gleichströme benutzten, oder Wechselströme; ich zeigte Ihnen, dass Sie in beiden Fällen, wenn Sie im Stromkreis viel Selbstinduktion haben, durch plötzliche Unterbrechung desselben viel grössere elektromotorische Kräfte erhalten können, als diejenigen, welche Sie dem System mitgetheilt haben, und dass diese für die Isolation des Systems verderblich werden können. Der einzige Unterschied ist der, dass im Falle von Wechselströmen die Selbstinduktionen, welche wir, z. B. in den Transformatoren haben, ausserordentlich viel grösser sind, als diejenigen, welche vorhanden sind, wenn wir Gleichströme verwenden; es ist daher klar, dass die Wichtigkeit dieser Frage bei der praktischen Verwendung von Wechselströmen grösser werden muss, und das besonders bei der praktischen Verwendung derselben in einem so riesigen Maassstabe, wie bei der Nutzbarmachung der Niagarafälle, wo die Transformatoren von gewaltiger Grösse sind, und wo dann die Selbstinduktion gleichfalls sehr gross ist. In einem solchen Falle, wie hier, würde

es, ich möchte fast sagen, ein Verbrechen sein, den Strom plötzlich zu unterbrechen, so gross würde die Gefahr sein.

Heute nun verlassen wir diese beiden Gegenstände und ich werde mich mit drei anderen eigenthümlichen Erscheinungen beschäftigen, welche bei der Fortleitung elektrischer Ströme auftreten, nämlich Oberflächenschicht-Widerstand*), Resonanz und Schwingungen. Alle drei sind, schon vom rein wissenschaftlichen Standpunkte betrachtet, interessante Erscheinungen; von noch weit grösserer Wichtigkeit aber sind sie in technischer Hinsicht. Ich erwähnte im Verlauf des letzten Vortrags, dass eine grosse Anzahl der Schwierigkeiten, welche sich bei der Behandlung einer Aufgabe der Wechselstromtechnik darbieten, durch Verminderung der Zahl der Stromwechsel überwunden werden können. Als ich zuerst im Jahre 1890 den jetzt bei der Ausnutzung der Niagarafälle Betheiligten Bericht erstattete, also vor etwa 5 Jahren, hob ich unter den geeigneten Hilfsmitteln zur Nutzbarmachung derselben besonders die Wahl desjenigen Systems hervor, welches wir nunmehr eingeführt haben; und indem ich die möglicherweise eintretenden Störungen genau bezeichnete, gab ich gleichzeitig diejenigen Mittel an, welche mir am besten geeignet schienen, dieselben zu vermeiden. Gleich vom ersten Augenblick an fasste ich den ausserordentlich wichtigen Gedanken, die Wechselzahl herabzusetzen, und dies im Verein mit den übrigen Vorsichtsmassregeln, welche eingeführt worden sind, hat jede Gefahr irgendwelcher Störungen fern gehalten,

*) Für das englische „Skin resistance“ giebt es keinen entsprechenden deutschen Ausdruck. Ich habe mir erlaubt, dafür den obigen zu gebrauchen.

welche wir sonst infolge des Gebrauchs des Wechselstromes bei einem solchen Vertheilungssystem zu erwarten gehabt hätten.

Induktionserscheinungen bei sehr hoher Wechselzahl und elektromotorischer Kraft.

Wenn wir zu sehr hohen Wechselzahlen greifen, steigern sich die Wirkungen beträchtlich; mittels des Apparats des Herrn Campbell Swinton, welchen ich hier stehen habe, kann ich aber thatsächlich solche sehr hohe Wechselzahlen erhalten. Indem ich eine oscillierende Entladung benutze (über die ich später noch mehr sagen werde), und zwar eine mit sehr raschen Oscillationen, und indem ich gleichzeitig bei dieser Entladung eine hohe elektromotorische Kraft anwende, vermag ich Wirkungen zu erzeugen, welche ich mit einem gewöhnlichen Wechselstrom nicht erhalten könnte. Gleichzeitig vermögen wir, indem wir die Wirkungen bei diesen hohen Wechselzahlen beobachten, zu verstehen, was auch bei anderen Wechselzahlen eintreten muss, wenn da auch nicht in so hohem Maasse.

Ich will Ihnen jetzt die Wirkungen der gegenseitigen Induktion zwischen zwei Stromkreisen vorführen, welche mit Hülfe sehr hoher Wechselzahlen und einer sehr hohen elektrischen Spannung, d. h. einer grossen Zahl von Volt, erhalten werden können. Ich werde dabei die beiden Kupferdrahtreifen von etwa 2 m Durchmesser (Fig. 29) benutzen, welche vor mir stehen, und ich werde durch einen von ihnen eine oscillatorische Entladung von sehr hoher Wechselzahl und sehr hoher elektrischer Spannung hindurch gehen

lassen. Nun wird Jedermann, der die gewöhnlichen Erscheinungen der gegenseitigen Induktion gesehen hat, sehr wohl wissen, dass es, wenn wir einen gewöhnlichen Wechselstrom durch einen von diesen Drähten schicken wollten, unmöglich sein würde, einen nennenswerthen Strom im anderen Draht zu inducieren. Dagegen will ich Ihnen zeigen, eine wie beträchtliche Energiemenge darin entwickelt werden kann, wenn die elektromotorische Kraft hoch genug

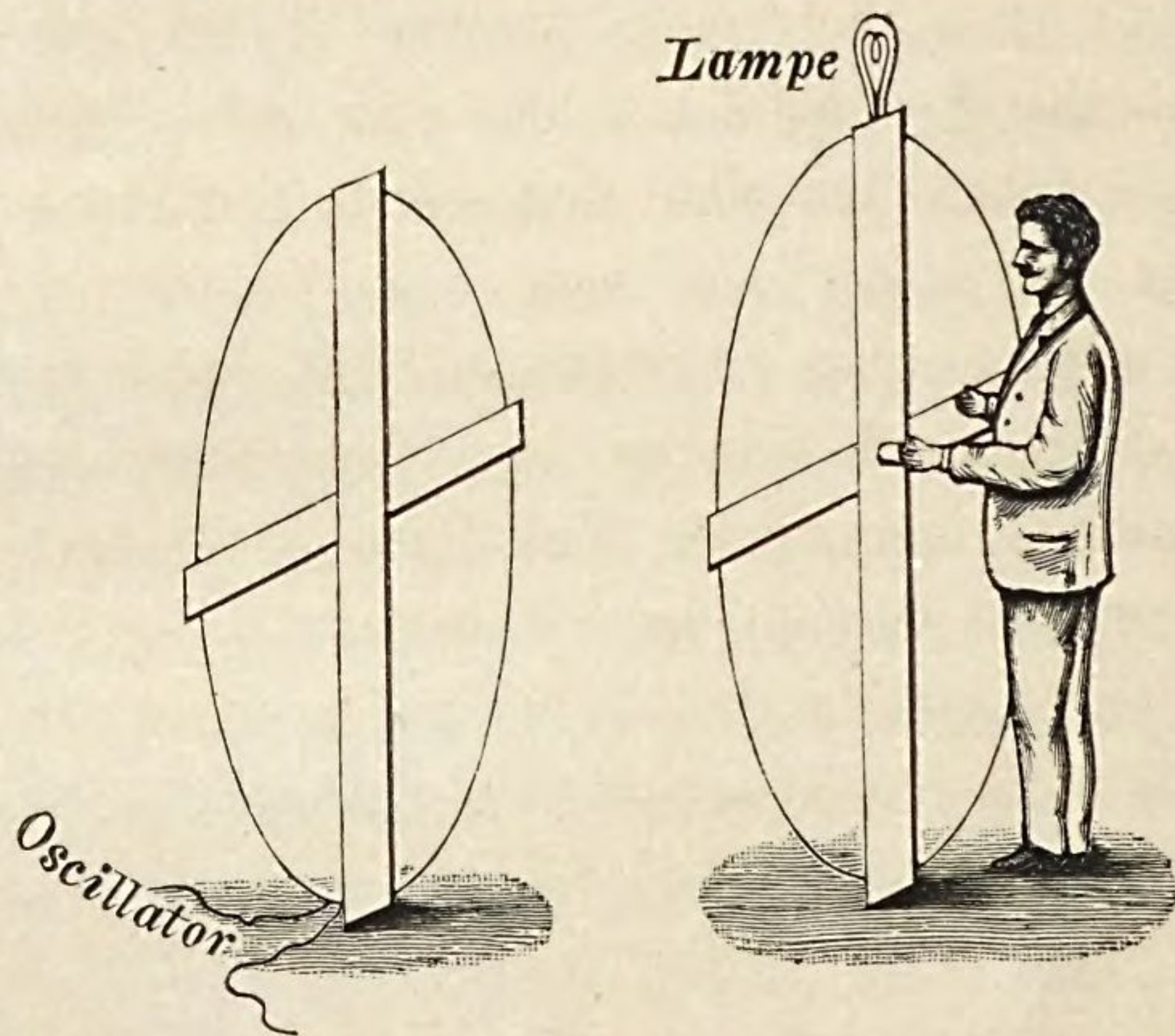


Fig. 29.

und die Wechselzahl gross genug ist. Und dies ist der Fall, wenn wir die oscillierende Entladung des Apparates des Herrn Campbell Swinton benutzen. Ich entferne den einen von den Reifen, an welchem ich oben eine Glühlampe angebracht habe, vom anderen. Sodann will ich durch den anderen eine oscillatorische Entladung von hoher Frequenz hindurch gehen lassen und will Ihnen zeigen,

dass selbst bei einem beträchtlichen Abstand der Strom, welcher durch den Draht, den ich in der Hand halte, hindurchgeht, genügend stark ist, um die Glühlampe oben zum Leuchten zu bringen. [Versuch]. Jetzt ist das Leuchten noch nicht sichtbar. Ich bringe den Reifen näher an den anderen heran. In diesem Abstand ist es sehr schwach, aber doch merkbar. Ich nähere mich jetzt bis auf etwas mehr als ein halbes Meter, und die Lampe erreicht, wie Sie sehen, ihren vollen Glanz. Das ist lediglich eine Wirkung des Induktionsstromes, welcher diesen Drahtreif von 2 m Durchmesser durchfließt. Ich kann den Reif um die vertikale Axe in verschiedene Richtungen drehen, bis er mit dem feststehenden fast einen rechten Winkel bildet, und ich erhalte immer noch eine gewisse Lichtstärke, wenn er aber genau rechtwinklig zum festen Ring ist, verlöscht das Licht. Wenn ich weiter herum drehe, und die beiden Drähte wiederum parallel sind, ist die Helligkeit wieder so gross wie zuvor.

Leuchten einer Glühlampe durch den Strom, welcher durch den Körper eines Menschen geht.

Jetzt will ich einige von den Apparaten, welche ich hier soeben gebraucht habe, nehmen, um Ihnen eine andere sehr bemerkenswerthe Wirkung bei diesen Versuchen mit sehr hoch gespannten Strömen vorzuführen. Wenn wir sehr hohe elektrische Spannungen benutzen, brauchen wir einen viel schwächeren Strom, um die Energie zu erzeugen, welche z. B. eine Glühlampe zum Leuchten bringt; wenn wir nämlich sehr hohe elektrische Spannungen mit Zwischenpausen, in

denen kein Strom fließt, durch eine Lampe schicken, so vermögen wir in einem kleinen Zeittheilchen einen sehr starken Strom zu erzeugen, nach einer Zwischenpause wieder einen sehr starken Strom, und so fort, und im ganzen wird die gesammte Elektrizitätsmenge, welche hindurchgegangen ist und die Lampe zum Leuchten gebracht hat, nicht so gross sein, wie die gesammte Menge, welche hindurchgegangen sein würde, wenn wir einen gewöhnlichen Gleich- oder Wechselstrom durch die Lampen hindurchgeschickt hätten. Der in der Lampe entwickelte Effekt wird durch das Quadrat der Stromstärke gemessen. Nehmen wir zwei Fälle an: erstens eine Lampe, durch welche ein continuierlicher Strom hindurch geht; wir haben alsdann eine bestimmte Elektrizitätsmenge, welche durch die Lampe fließt. Im zweiten Falle wollen wir einen Strom von zehnfacher Stärke in jeder Secunde nur eine Zehntelsecunde lang hindurchschicken; während jener Zehntelsecunde würden wir alsdann hundert mal soviel Effekt erhalten, wir würden also im Ganzen zehnmal so viel Effekt bekommen. Daraus folgt also, dass wir, wenn wir während eines kurzen Zeitraums den Maximalstrom steigern, die Energie, welche während dieses Zeitraums der Lampe zugeführt wird, viel mehr steigern, als den Strom selbst. Es ist daher klar, dass wir, wenn wir in dieser Weise verfahren, im Stande sind, eine weit geringere Gesamtsumme von Strom durch die Lampe zu senden und doch denjenigen Energiebetrag zu erhalten, welchen die Lampe braucht. Das ist wahrscheinlich die Ursache, weshalb eine Lampe mittels des durch den Körper eines Menschen hindurchgehenden Stromes zum Leuchten gebracht werden kann, wie dies mit einem Apparat, wie er hier vor Ihnen

steht, möglich ist. Die Stromstärke, welche ich ohne Schaden von Hand zu Hand durch meinen Körper hindurch auszuhalten vermag, ist sicher weniger als 0,01 Ampère; wenn ich Ihnen also zeigen kann, dass eine Lampe durch den durch meinen Körper fließenden Strom zum Leuchten gebracht werden kann, so weiss ich, dass nicht mehr als 0,01 Ampère durch die Lampe hindurchgehen kann, und wenn ich dennoch die Lampe zur vollen Helligkeit bringe — und zwar eine Lampe, welche dazu ein fünftel Ampère brauchen würde — so muss ich annehmen, dass die Energie dieselbe ist, dass aber die gesamte Elektrizitätsmenge nicht dieselbe ist; und das ist es, was ich Ihnen mit diesem Apparat hier vorzuführen beabsichtige. Nun ist dies ein Versuch, welchen nicht gern Jedermann probieren möchte: ich will deshalb Herrn Campbell Swinton, welcher denselben vorbereitet hat, bitten, mir bei dem Versuch, den Strom durch den Körper hindurch zu leiten, behülflich zu sein. Thatsächlich ist nicht die geringste Belästigung, oder Gefahr, oder Unbequemlichkeit dabei. Im ersten Vortrag führte ich Ihnen einige Versuche ähnlicher Art vor. Dort war es ganz offenbar, dass die Elektrizität, welche die Lampe zum Leuchten brachte, nicht durch den Körper hindurchging, im gegenwärtigen Fall ist es ganz offenbar, dass die Elektrizität durch den Körper hindurchgeht (Fig. 30). [Versuch]. Die Elektrizität, welche aus dieser Spule kommt, geht sicher durch unsere beiden Körper hindurch, und wir können die Leuchtkraft der Lampe bis zu jeder beliebigen Stärke verringern oder bis zur vollen Helligkeit steigern, indem wir von der Drosselspule, welche durch die Mitte der Figur gezeichnet ist, mehr oder weniger ausschalten.

Ob die Erklärung, welche ich Ihnen gegeben habe, und welche auch Herr Campbell Swinton für die richtige hält, eine vollständige ist, kann ich Ihnen nicht sagen. In mancher Hinsicht scheint ja eine solche darauf hinaus zu laufen. Den Strom durch den Körper hindurchgehen lassen ist etwas ganz anderes, als denselben in ihm aufnehmen, indem man sich selbst als Leydner Flasche benutzt, wie ich es im ersten Vortrag gethan habe. Dabei hat man gar keine

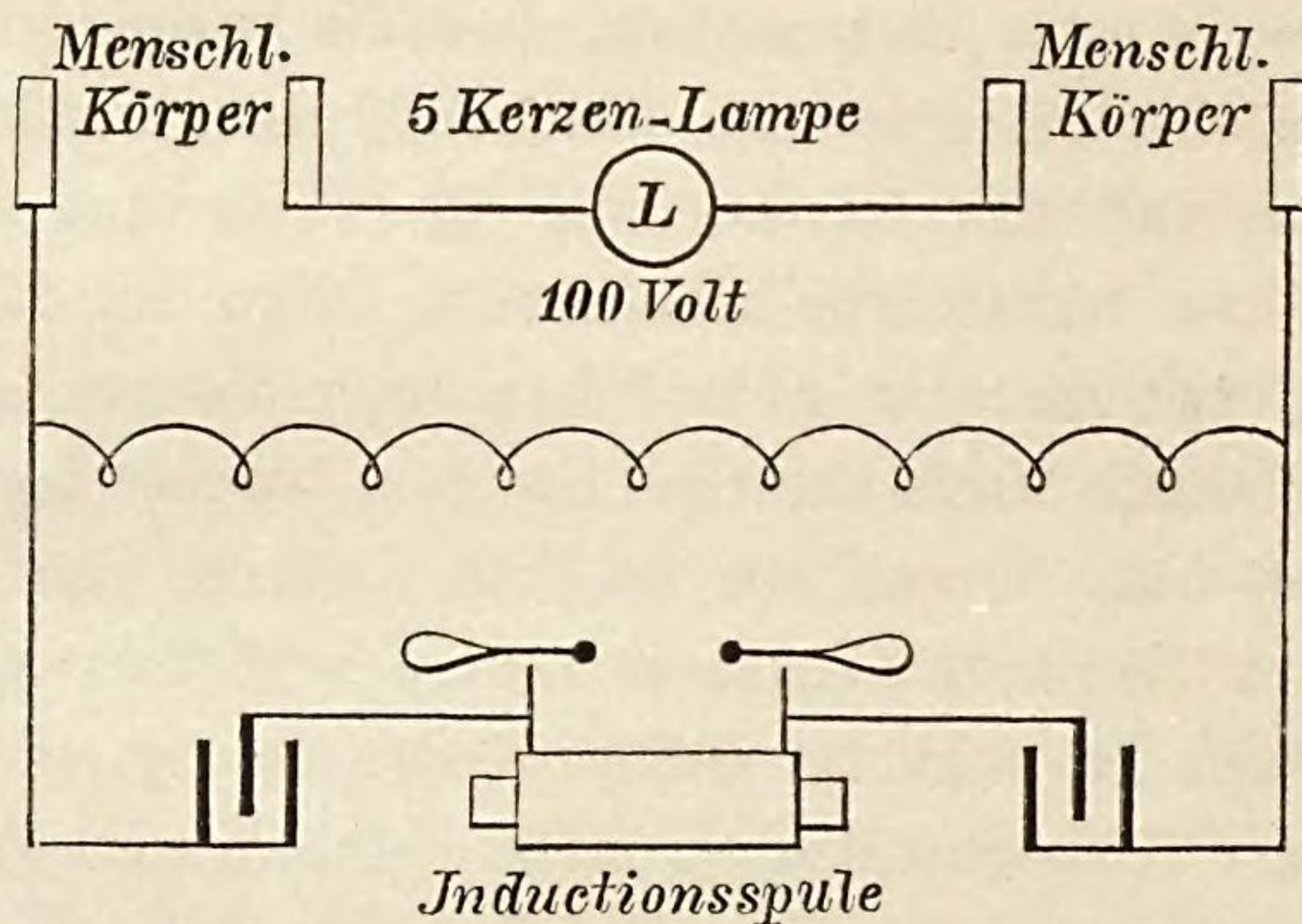


Fig. 30.

Empfindung; Sie fühlen vom Strom überhaupt nichts. Im gegenwärtigen Fall aber fühlten wir beide, Herr Campbell Swinton und ich, den Strom durch unsere Körper hindurchgehen, und er war gerade so stark, als wir bequem ertragen konnten; man fühlt auch eine gewisse Wärme, ich glaube aber nicht, dass dieselbe der wirkliche Wärmewerth derjenigen Stromenergie ist, welche im Körper verbraucht wird. Sicher aber fühlt man diese Wärme.

Oberflächenschicht-Widerstand.

Ich möchte Sie jetzt mit einem weiteren Gegenstand bekannt machen, welcher in den letzten acht oder neun Jahren, wo man Wechselströme und unterbrochene Ströme benutzt, die Aufmerksamkeit in hohem Grade auf sich gelenkt hat. Ich meine, die Erscheinung, welche man mit dem Namen „Oberflächenschicht-Widerstand“ bezeichnen kann. Es ist nämlich folgende Thatsache sicher nachgewiesen worden — und es konnte auch nach der mathematischen Behandlung der Frage nicht anders sein — dass, wenn wir einen Wechselstrom von hoher Frequenz durch einen Leiter schicken, die Stromdichte in den einzelnen Punkten des Querschnitts keine gleichmässige ist. Der Strom ist, wenigstens theilweise, in den äusseren Schichten des Leiters zusammengedrängt. In der Mitte fliesst dann nicht so viel Strom, als durch einen gleich grossen Querschnitt an der Oberfläche, und daher besteht der Widerstand des Leiters mehr aus demjenigen der äusseren Schichten, als der mittleren. Wenn wir die Periodenzahl hoch genug machen, können wir den Strom im mittleren Theile ganz zum Verschwinden bringen. In diesem Falle ist der Körper, welcher den Widerstand leistet, einfach ein röhrenförmiger Leiter, kein massiver. In dieser Bedeutung soll der Ausdruck „Oberflächenschicht-Widerstand“ genommen werden.

Es war, ich glaube, im Jahre 1886, in seiner Ansprache als Vorsitzender der Institution of Electrical Engineers, als Professor Hughes diese Erscheinung den Elektrikern als wichtig vor Augen führte. Ich will damit nicht gesagt haben, dass nicht einige von diesen Wirkungen

früher schon beobachtet worden wären, und ich behauptete auch nicht, das es nicht bekannt gewesen wäre, dass im gedachten Falle für die verschiedenen Theile des Querschnitts eines Leiters ein Unterschied in der Stromdichte vorhanden sein könnte; es wurde aber damals zum ersten Male nachgewiesen, dass dieser Widerstand ein wirklicher, bestimmter Widerstand sei, und derselbe wurde von Prof. Hughes als solcher in Ohm gemessen. Früher hatte man vollkommen richtig beim Gebrauch der Wheatstone'schen Brücke wahrgenommen, dass man keine richtige Ablesung erhalten konnte, wenn man den Schlüssel des Galvanometers (dessen Ablenkung eine Abweichung vom richtigen Widerstand anzeigt) niedergedrückt hielt, während man den Stromkreis der Batterie unterbrach. Allgemein wurde dies der Selbstinduktion zugeschrieben, welche sich bei der Unterbrechung des Stromkreises der elektrischen Batterie bemerklich machte; oft aber, und zwar namentlich, wenn nicht gerade Spulen verwendet wurden, gehörte diese Erscheinung zum weit grösseren Theil zu der oben genannten Art, für welche Prof. Hughes nachgewiesen hat, dass es sich dabei um eine wirkliche Vermehrung des Widerstandes handle; und diese Vermehrung des Widerstandes entsteht dadurch, dass der elektrische Strom mehr in den äusseren Schichten fliesst, anstatt dass er über den Querschnitt des stromführenden Leiters gleichmässig vertheilt ist. Die Erklärung für diese Thatsache ist nicht schwer zu finden. Sie erinnern sich, ich hatte im letzten Vortrage zwei einander parallele, etwa 2 m lange Drähte. Durch den einen schickte ich einen elektrischen Strom, und in dem Augenblick, wo ich diesen Stromkreis schloss, zeigte der andere, welcher durch ein

Galvanometer geschlossen war, einen Induktionsstrom an, aber von der entgegengesetzten Richtung, wie der vorher entstandene. So findet auch bei einem Wechselstrom in dem Augenblick, wo ein Wechsel in der Richtung des Stromes eintritt, eine Gegenwirkung infolge der gegenseitigen Induktion statt. Nehmen wir nun Beispiels halber an, dieser Stab hier auf dem Tische bestehe aus einem Bündel von Drähten, und ich trennte davon und isolierte den mittleren Draht und ebenso einen von den äusseren Drähten, und schickte dann durch das ganze Bündel einen elektrischen Strom, dann würde in jedem von den Drähten, welche ich ausgewählt und isoliert habe, ein Induktionsstrom vorhanden sein; es würde in denselben eine elektromotorische Gegenkraft thätig sein, eine Kraft, welche die Elektrizität in der entgegengesetzten Richtung treibt, wie diejenige, in welcher der primäre Strom lief. Wenn Sie aber die Lage aller Drähte im Bündel in Bezug auf einen an der Aussenseite beachten wollen, ebenso in Bezug auf den Mitteldraht, so werden Sie sehen, dass der Mitteldraht viel mehr Drähte in geringem Abstand von sich hat, als der äussere. Deshalb ist die Gegenkraft beim Mitteldraht viel grösser, als diejenige beim äusseren; wenn ich somit durch das Bündel von Drähten plötzlich einen Wechselstrom hindurchsende, so tritt in diesen beiden Drähten bei jedem Wechsel in der Stromrichtung eine Gegenkraft auf, diese Gegenkraft muss aber im mittleren Draht viel grösser sein, als in einem aussen liegenden Draht. Das heisst, es besteht zwar in jedem von den Drähten des Bündels eine Gegenkraft, aber im mittleren Draht eine grössere, und daher wird dort der Strom nicht so stark

sein können, wie an der Aussenseite. Wenn wir daher das ganze Bündel in Form eines massiven Leiters haben, so ist immer in der Mittellinie eine elektromotorische Gegenkraft thätig, welche grösser ist, als die elektromotorische Gegenkraft an irgend einer anderen Stelle des Querschnitts. Deshalb geht der Strom hauptsächlich durch die äusseren Schichten des Leiters, und dies hat eine Vermehrung des Widerstandes zur Folge, welche von Prof. Hughes mit Hülfe des sinnreichen Apparates, den er bei der genannten Gelegenheit vorführte, wirklich gemessen worden ist.

Hier ist eine Messingröhre, bei welcher es indessen

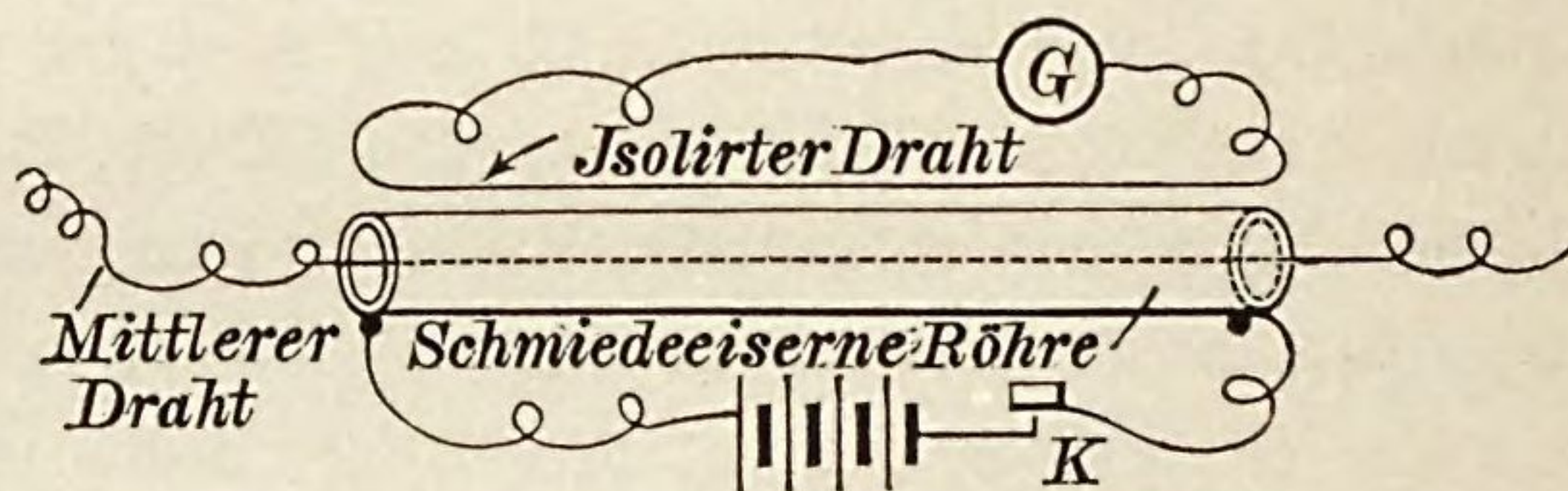


Fig. 31.

einige Zeit dauern würde, wenn ich Ihnen die fragliche Wirkung damit zeigen wollte, weil dieselbe ein sehr empfindliches Galvanometer erfordert, und es einige Zeit dauert, ehe ein solches zur Ruhe kommt. Prof. Hughes zeigte, dass die durch einen eisernen Leiter verursachte Widerstandszunahme viel grösser ist, als bei einem Leiter aus irgend einem anderen Material. Deshalb will ich zu meinem nächsten Versuch als Leiter eine Eisenröhre benutzen (Fig. 31), mit einem isoliert durch die Mitte derselben geführten Draht, und mit einem zweiten isolierten Draht, welcher an ihrer Oberfläche liegt; ich will Ihnen nun die

Verschiedenheit der Induktionswirkungen bei diesen beiden Drähten vorführen. Ich will mit dem äusseren Draht beginnen, welcher aus verschiedenen Abständen, vom kleinsten bis hinauf zum Durchmesser der Röhre, Induktionswirkungen erfährt. In diesem Falle wird es nur eine Ablenkung von zwei bis drei Theilstrichen der Skala auf dem Schirm geben; wollen Sie also genau aufpassen und die Messung selbst ausführen. [Versuch]. Sie sehen, der Lichtzeiger geht beinahe bis zum zweiten Theilstrich. Ich sandte also den Strom durch diese Eisenmasse, und der im äusseren Draht inducierte Strom war hinreichend, das Galvanometer um etwa ein und einen halben Skalentheil abzulenken. Jetzt vertausche ich die Verbindungen, und Sie werden den grossen Unterschied hierbei bemerken. [Versuch]. Dieses Mal sehen Sie, ging die Ablenkung beinahe über die ganze Länge der Skala. Das ist der Ausschlag, der bei dem durch die Mitte der Röhre gehenden Draht erhalten wird; derselbe lässt den ausserordentlichen Unterschied zwischen den elektromotorischen Kräften an beiden Stellen erkennen. Diese ausserordentliche Verstärkung der Wirkung beim Eisen beruht darauf, dass durch den Hindurchgang des elektrischen Stromes dasselbe magnetisch wird, und zwar circular magnetisch. Daher schneiden den in der Mitte der Röhre ausgespannten Draht mehr Kraftlinien und erzeugen dabei eine grössere elektromotorische Kraft, als dieselbe sein würde, wenn kein Eisen da wäre, wenn zum Beispiel das Eisen durch Kupfer ersetzt worden wäre, in welchem Material Sie bei der gleichen Stromstärke bei weitem keine so grosse Menge von magnetischen Kraftlinien erhalten können. Dieser Versuch erläutert im allgemeinen das Princip des

Oberflächenschicht-Widerstandes. Ich darf hinzufügen, dass ein Ingenieur in der gewöhnlichen Praxis selten durch diese Erscheinung gestört werden wird, ausgenommen wenn er sehr grosse Anlagen mit Wechselstrom auszuführen hat, wo dann die Kabel sehr dick sind. Bei keinem der Kabel, wie wir sie bei uns in der elektrotechnischen Industrie gewöhnlich benutzen, würde irgend welche Störung vorhanden sein, und nur wenn wir Kabel von 3 bis 6 cm Durchmesser des Kupferleiters nehmen, würde diese Störung sich ernstlich bemerkbar machen. Wenn wir uns aber einmal dazu entschliessen wollten, die Wechselzahl zu erniedrigen, wie ich dies jenseits des Ozeans gethan habe, so würde auch hier diese Störung ganz verschwinden. Bis hinauf zu den stärksten Leitern, welche wir am Niagara gebrauchen wollen, giebt es nicht die geringste Störung infolge eines in dieser Weise erzeugten Extrawiderstandes.

Ich kann Ihnen noch einige andere Versuche derselben Art vorführen, um Ihnen zu zeigen, dass unter Umständen dieser Oberflächenschicht-Widerstand sehr hoch werden und sogar den Durchgang eines elektrischen Stromes durch einen massiven, guten Leiter fast verhindern kann. Dies ist thatsächlich auch die Erklärung für einen Versuch, welcher schon vor vielen Jahren von Faraday angestellt worden war. Dieser hatte nämlich einen Draht, welcher im Zimmer herumgeführt war, und dessen beide Enden in einem Abstand von etwa fünf Centimetern von einander befestigt waren; in die beiden Enden des Drahtes wurde die Entladung einer mächtigen Leydner Flasche geschickt; dabei zog es die Entladung vor, den Luftraum zu überspringen, anstatt durch den Kupferleiter zu gehen, wiewohl

dieser ein ausgezeichneter Leiter war. Dies war eine Folge der Plötzlichkeit der Entladung, und die Versuche, welche ich Ihnen jetzt vorführen will, sind Beweise für dieselbe Thatsache. Um Ihnen den Versuch, und zwar vielleicht in etwas vollkommenerer Form vorzuführen, nehme ich einen etwa 2 m hohen Kupferdrahtbügel (Fig. 32) — eine von den Versuchsanordnungen, für welche ich Herrn Campbell Swinton zu Dank verpflichtet bin — und sende eine oscillatorische Entladung hinein. In dem Apparat vor Ihnen

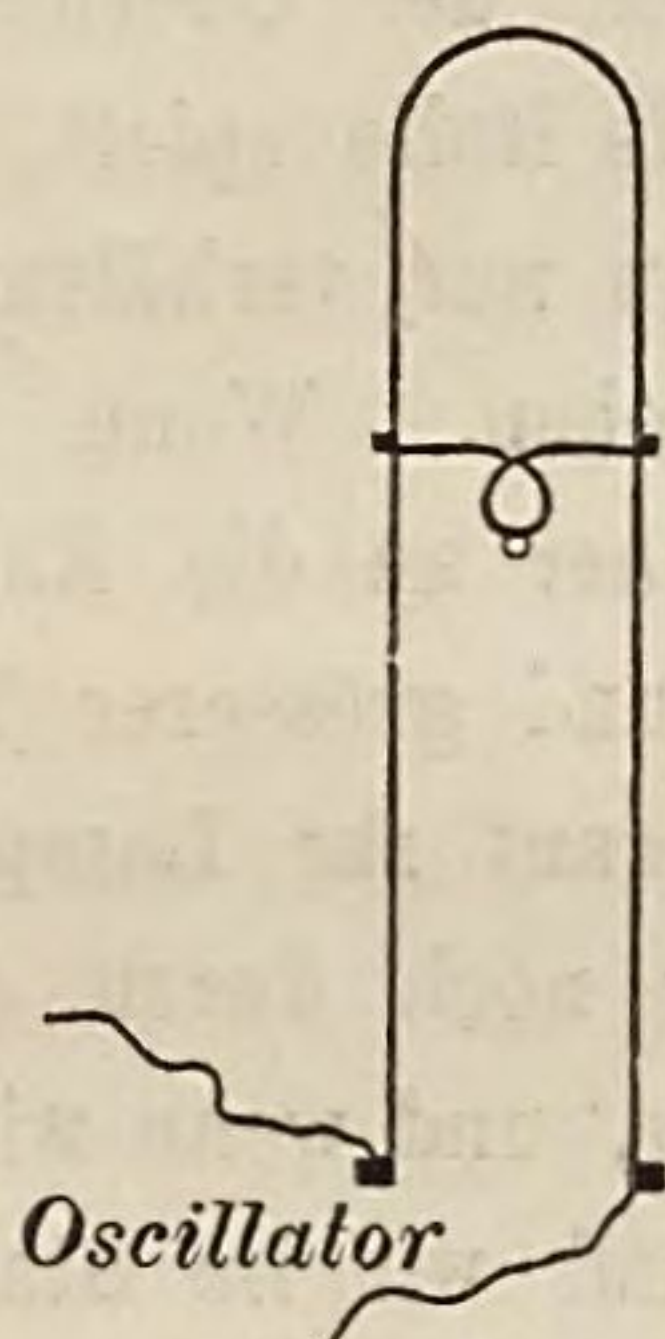


Fig. 32.

habe ich ein Mittel, um sehr rasche Oscillationen zu erzeugen. Die Polenden werden mit den beiden Klemmen am Fusse des Bügels verbunden, und quer über die beiden vertikalen geraden Seitentheile des Bügels ist eine Glühlampe gehängt. Jedermann, welcher diese Anordnung ansieht und dabei an die gewöhnlich benutzten Ströme denkt, würde sagen: wenn wir den Strom zuführen, wird derselbe ganz durch den dicken Bogen fließen, aber nichts davon

durch diese Glühlampe mit ihrem sehr hohen Widerstand; thatsächlich aber wird der Widerstand, welcher diesen sehr raschen Oscillationen entgegengesetzt wird, so gross, dass es sehr schwer ist, den Strom dahin zu bringen, dass er auch nur durch ein kurzes Stück dieses Drahtes geht, und noch schwerer, ihn dazu zu bringen, dass er ganz hindurch geht; anstatt einfach diesen starken Leiter zu durchlaufen, welcher dabei einen gewissen Oberflächenschicht-Widerstand bieten würde, zieht es ein grosser Theil der elektrischen Energie vor, quer über durch diesen dünnen Faden zu gehen, in welchem der Oberflächenschicht-Widerstand keine so hervorragende Rolle spielt. [Versuch]. In dieser Höhe, sehen Sie, kann nur verhältnissmässig wenig Strom durch die Lampe gehen. Wenn wir die Lampe tiefer herunter schieben, näher an die Enden des Bügels, fliesst ein immer grösserer und grösserer Theil des Stroms durch die Leiter nur bis herauf zur Lampe, immer weniger und weniger aber vermag noch durch den übrigen Theil des Kupferbügels zu gehen, und wenn wir die Lampe tief genug herunter schieben, sind wir im Stande, dieselbe auf ihre volle Helligkeit zu bringen.

Nachdem ich Ihnen jetzt die Natur des Oberflächenschicht-Widerstandes klar gemacht und dargelegt habe, wie derselbe dadurch entsteht, dass ein massiver Leiter da ist, will ich nunmehr, um Ihnen dies noch deutlicher vor Augen zu führen, einen Kupferstreifen an Stelle des massiven Drahtes von kreisförmigem Querschnitt nehmen. Dieser Kupferstreifen hat genau dasselbe Gewicht für die Längeneinheit, er besitzt genau denselben Querschnitt, wie der Draht, und ist von derselben Leitungsfähigkeit. Was

ich Ihnen hier zu zeigen wünsche, ist folgendes: beim Streifen ist die Induktion zwischen den verschiedenen Theilen nicht so beträchtlich, da hier die Abstände der verschiedenen Stellen eines Querschnitts von der Mitte grösser sind, als beim Draht, wo alle Theile des Querschnitts dem mittleren sehr nahe sind. Wir wollen jetzt den Strom hineinleiten. Sie sehen, wie jetzt der Strom viel leichter durch den oberen Theil des Kupferstreifens hindurch zu gehen vermag, als vorhin. Das Licht ist ganz schwach, wenn ich aber die Lampe allmählig tiefer herabbringe, wird es allmählig stärker. Die Lampe hat indessen ihre volle Helligkeit noch nicht erlangt, und nur wenn ich sie nahe bis zum unteren Ende des Bügels herunterschiebe, kann ich in derselben genügenden Strom erhalten, um sie zum vollen Glanze zu bringen. Der Unterschied zwischen dem Kupferstreifen und dem massiven Kupferstab ist auffallend.

Ferner will ich Ihnen die Wirkung mit einem Eisenstab vorführen, und zwar habe ich dazu einen Eisenstab von solchem Querschnitt gewählt, dass er genau dieselbe Leitungsfähigkeit besitzt, wie der Kupferstab, welchen ich beim zweiten Versuch verwendete. Hier ist der Widerstand gegen den Stromdurchgang sehr viel grösser, als in den beiden Fällen, welche wir vorhin hatten, wie deutlich zu erkennen sein wird, wenn ich den Apparat in Thätigkeit setze. [Versuch]. Allmählig, in dem Maasse wie wir sie herunterschieben, erreicht die Lampe ihren vollen Glanz; Sie sehen aber, wenn die Lampe dasselbe Niveau erreicht hat, wo sie im ersten Falle ihren vollen Glanz annahm, hat sie diesen jetzt noch nicht erreicht, einfach deshalb,

weil das Eisen zwischen der Lampe und den Polklemmen einen so grossen Widerstand darbietet, dass selbst in dieser Höhe nur sehr wenig Strom durch die Lampe hindurchzugehen vermag, und wir müssen dieselbe in Wirklichkeit sehr weit herunterschieben, ehe sie ihre volle Helligkeit annimmt. Diese drei Versuche erläutern in einer ganz ausgezeichneten Weise den allgemeinen Charakter der Erscheinungen des Oberflächenschicht-Widerstandes, welche nicht allein von rein wissenschaftlichem Gesichtspunkt von grossem Interesse sind, sondern auch bei der Behandlung technischer Aufgaben sorgsame Erwägung verlangen.

Elektrische Resonanz.

Indem ich jetzt den Oberflächenschicht-Widerstand verlasse, möchte ich noch einige Worte — ich kann Ihnen hierbei freilich leider keine elektrischen Versuche vorführen, obgleich ich Ihnen lehrreiche Versuche über elektrische Schwingungen vorführen werde — über die Erscheinungen der elektrischen Resonanz sagen, wie sie sich zum Beispiel als eine Folge der beträchtlichen Kapazität der Kabel vor einiger Zeit hinsichtlich der Spannungen an den von Deptford nach London laufenden Leitungen zeigten. Wollen Sie den Unterschied beachten, den ich zwischen Resonanzwirkungen und Schwingungswirkungen mache. Lassen Sie mich den Gegenstand einleiten, indem ich einige Worte über die gewöhnliche Resonanz sage. Ich habe hier (Fig. 33) eine Spiralfeder, welche von der Decke herabhängt; auf dieselbe kann ich in regelmässigen Intervallen eine Kraft wirken lassen. Ich will Ihnen nun zeigen, dass sich in der Feder,

wenn ich auf dieselbe in vertikaler Richtung eine ganz kleine Kraft in regelmässigen Intervallen wirken lasse, die Energie aufspeichert, und dass unter Umständen die Feder eine viel grössere Kraft ausübt, als die, welche ich ihr bei jeder einzelnen Bewegung mitgetheilt hatte. Sie werden also sehen, dass die Geschwindigkeit der Bewegung, wenn ich der Feder wiederholt einen Antrieb ertheilt habe, sehr viel grösser

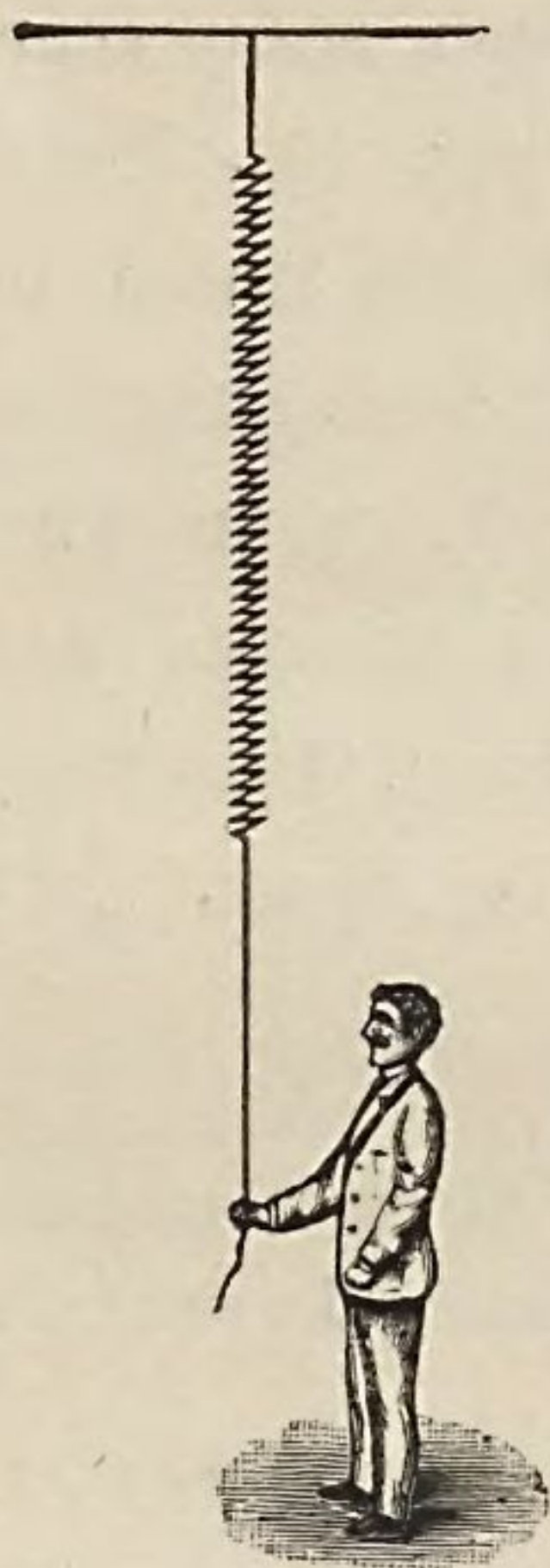


Fig. 33.

wird, als sie es werden würde, wenn ich dieselbe Kraft nur einmal wirken lassen würde. Die Ursache hierfür ist die, dass die Feder fähig ist, in einer ganz bestimmten Periode zu schwingen. Die Schwingungsdauer hängt von zweierlei ab, erstens von der Elastizität der Feder, welche dieselbe in die ursprüngliche Form zurückzuführen strebt, wenn diese geändert worden ist, zweitens von der Masse

oder dem Beharrungsvermögen der Feder, welches der Bewegung Widerstand leistet. Nur diese beiden Dinge treten bei dieser Feder ins Spiel. Hier ist keine Reibung. Sie befindet sich nicht in einem Gefäss mit Öl oder mit irgend etwas von der Art, dass es Widerstand darbieten könnte. Die einfache elektrische Analogie hierzu bietet ein Stromkreis, in welchem Kapazität — das ist der der Elastizität entsprechende Antheil —, und Selbstinduktion — das ist der dem Beharrungsvermögen entsprechende Antheil, vorhanden ist. Genau so, wie wir bei dem mechanischen Problem der Feder, wenn wir die Masse und die Elastizität derselben kennen, die Schwingungsdauer berechnen können, ebenso können wir auch, wenn wir für Masse und Elastizität die elektrischen Einheiten, welche wir in der Tabelle (Seite 38) gegeben haben, einsetzen, die Dauer einer elektrischen Schwingung berechnen*). [Versuch]. Ich übe bei

*) Ist m die mit der Feder verbundene Masse, K diejenige Kraft, welche eine Längenänderung derselben um die Längeneinheit hervorbringt, so ist die Schwingungsdauer $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}}$. Je elastischer ein Körper ist, um so kleiner wird K , um so grösser wird $\frac{1}{K} = E$; wir können daher die Elastizität der Feder durch die Grösse E messen und haben alsdann $T = 2\pi \sqrt{m E}$. Ist ebenso L der Selbstinduktionscoefficient, C die Kapazität eines Stromkreises, so ist die Dauer einer elektrischen Schwingung $T = 2\pi \sqrt{L C}$. Messen wir im ersten Falle die Masse nach Gramm (G), die Kraft K nach Dyn pro Centimeter ($\text{CGS}^{-2}: C = \text{GS}^{-2}$), also $E = \frac{1}{K}$ nach $\text{G}^{-1} \text{S}^2$, so liefert die Formel T in Secunden.

jedem Zug nur eine ganz geringe Kraft auf die Feder aus, und Sie sehen, nachdem ich kaum mehr als zwei oder drei Züge gethan habe, ist ihre Bewegung schon eine ganz beträchtliche geworden. In der That führt die Feder jetzt sehr heftige Eigenschwingungen von der ihr eigenthümlichen Periode aus, das heisst, der Strom, welcher in dem entsprechenden elektrischen System fliesst, ist ganz bedeutend stärker, als er bei der angewendeten elektromotorischen Kraft sonst sein würde. So lässt sich die Thatsache, dass die Schwingungsgeschwindigkeit der Feder eine grössere geworden ist, elektrisch interpretieren.



Fig. 34.

Ich will Ihnen die elektrische Resonanz noch in anderer Weise veranschaulichen. Ich nehme dazu ein Becherglas (Fig. 34), mit etwas Wasser darin, im übrigen mit Luft gefüllt. Die Luft ist fähig zu schwingen, und zwar, wenn die Länge des Glases eine bestimmte ist, in einer ganz bestimmten Periode. Wenn ich nun eine Stimmgabel in Schwingungen setze und über die Mündung des Glases

Ebenso erhalten wird die elektrische Schwingungsdauer in Secunden, wenn wir L in Henry ($10^9 C$), C in Farad ($10^{-9} C^{-1} S^2$) messen.

D. Übers.

halte, so versetzt dieselbe die Luft oberhalb der Mündung des Glases in Schwingungen; dieser Schwingungszustand theilt sich der Luft im unteren Theil mit und wird alsdann vom Boden genau in derselben Weise reflektiert, wie die Bewegung der Feder von der Decke. Die Luft am oberen Ende des Glases stellt das freie Ende dar, und das Wasser, dessen Oberfläche still steht, entspricht der Decke. Ich werde Ihnen jetzt zeigen, dass die Luft im Glas durch die Stimmgabel in Mitschwingungen versetzt wird, und deren Ton bedeutend verstärkt. Die Periode, in welcher die Luftsäule mittönt, hängt von ihrer Länge ab. [Versuch.]

Ich benutzte soeben eine Stimmgabel mit tiefem Ton. Hier habe ich eine mit höherem Ton, und Sie werden sehen, dass die Luftsäule mit derselben nicht mehr mittönt; wir müssen eine Luftsäule von anderer Länge ausfindig machen, welche es alsdann wieder thun wird. Ich will die Stimmgabel in Schwingungen versetzen und alsdann Herrn Mitchell bitten, in das Glas allmählig Wasser einzufüllen. Während das Wasser eingegossen wird, werden Sie hören, wie der Ton langsam anschwillt, bis die Resonanz, wenn wir eine bestimmte Länge erreicht haben, eine vollkommene ist. [Versuch.] Wenn wir die Elastizität und das Gewicht der Luft kennen, so können wir die Schwingungsdauer gerade so berechnen, wie bei der Feder, und dasselbe können wir bei jedem elektrischen System, bei dem wir die Kapazität in Farad und die Selbstinduktion in Henry kennen. Wie bei der Feder und der Luft die Schwingungsdauer allein von der Elastizität und vom Beharrungsvermögen abhängt, ebenso hängt dieselbe bei dem entsprechenden

elektrischen Vorgang nur von der Kapazität und der Selbstinduktion ab, nicht auch vom Widerstand. Der Widerstand vermag die Resonanz zu schwächen, beeinflusst aber nicht ihre Periode.

Als ein weiteres Beispiel der gewöhnlichen Resonanz will ich Ihnen einen Apparat vorführen (Fig. 35), welchen ich vor einiger Zeit mir zur Messung der Menge der schlagenden Wetter in Kohlengruben bauen liess. Er besteht aus einer Röhre, deren Länge ich durch Drehung

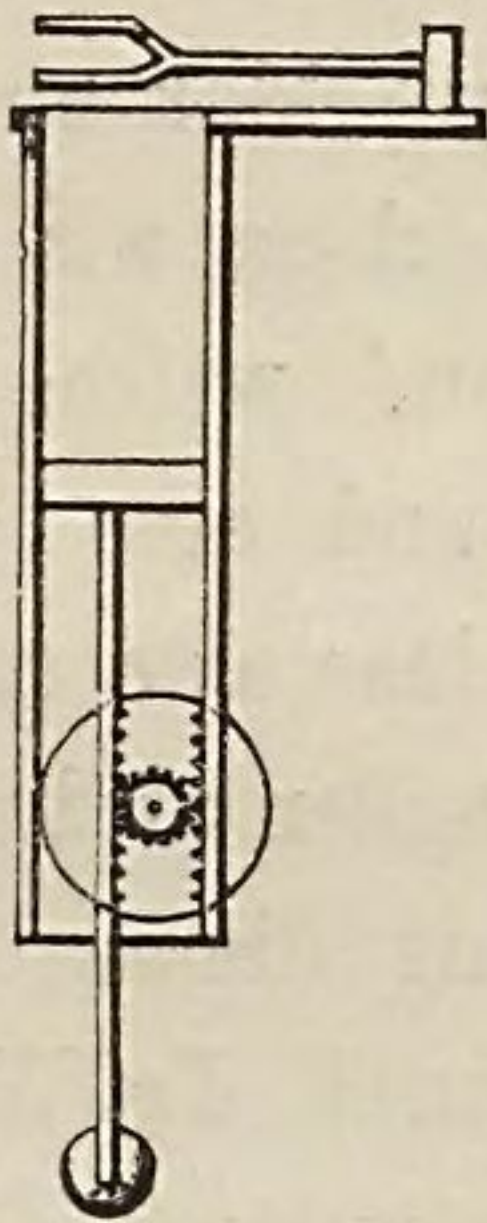


Fig. 35.

eines Zahnrades verändern kann, und aus einer Stimmgabel, durch welche die Luft zum Mittönen gebracht wird. [Versuch]. Jetzt ist keine Resonanz da; jetzt ist welche, jetzt keine. Ich gehe durch ein Maximum der Resonanz hindurch. Ich justiere die Länge der Röhre durch Drehen des Rades, bis ich das Maximum bekomme, und lese an dem Zeiger ab, hier sind schlagende Wetter, oder hier sind keine, je nachdem der Fall liegt. Die Elastizität der

schlagenden Wetter ist dieselbe, wie diejenige der Luft, aber die zu bewegende Masse ist nicht so gross, und deshalb wird die Bewegung eine raschere, als bei einer Luftsäule von derselben Länge.

Elektrische Schwingungen.

Indem ich jetzt die Frage der elektrischen Resonanz verlasse, wende ich mich zur letzten Erscheinung bei unterbrochenen Strömen und Wechselströmen, welche ich Ihnen vorzuführen beabsichtige, zu den elektrischen Schwingungen. Um Ihnen diese Erscheinungen klar zu machen, habe ich ein Modell hergestellt, an welchem wir die Analogien verfolgen wollen. Die Oscillatoren, welche ich benutze, besitzen eine gewisse Kapazität und eine gewisse Selbstinduktion; beide sind so gewählt, dass eine sehr rasche Schwingungsperiode sich ergibt; es werden alsdann durch einen Wechselstrom in Verbindung mit diesen Oscillatoren Wirkungen hervorgebracht, welche durch die Wechselströme allein nicht hervorgebracht werden könnten. Ich will Ihnen jetzt mit Hülfe eines einfachen Modells zeigen, was das charakteristische daran ist. Ich habe hier, wie Sie sehen, eine Feder (Fig. 36). Dieselbe hat ihre natürliche Schwingungsdauer. Ich habe an dem Uhrfederstück einen Streifen Papier befestigt, um dagegen blasen und so eine Biegung der Feder erzeugen zu können. Die Geschwindigkeit der Bewegung stellt die Zahl der Ampère des Stromes dar; ich möchte Ihnen nun folgendes zeigen: ich kann von diesem Apparat viel stärkere Ströme durch einen unterbrochenen Strom erhalten, als wenn ich einen undulatorischen Strom benutze.

Ich habe die Anordnung so getroffen, dass ich zuerst einen Luftstrahl auf und ab bewege, so dass er seinem Charakter nach undulatorisch ist. [Versuch.] Merken Sie sich jetzt die Grösse der Bewegung und den Betrag der Geschwindigkeit. Sie bemerken, die Feder bewegt sich vor und rückwärts, genau in dem Tempo, wie ich den Luftstrahl bewege, und die Geschwindigkeit der Bewegung ist verhältnissmässig gering.

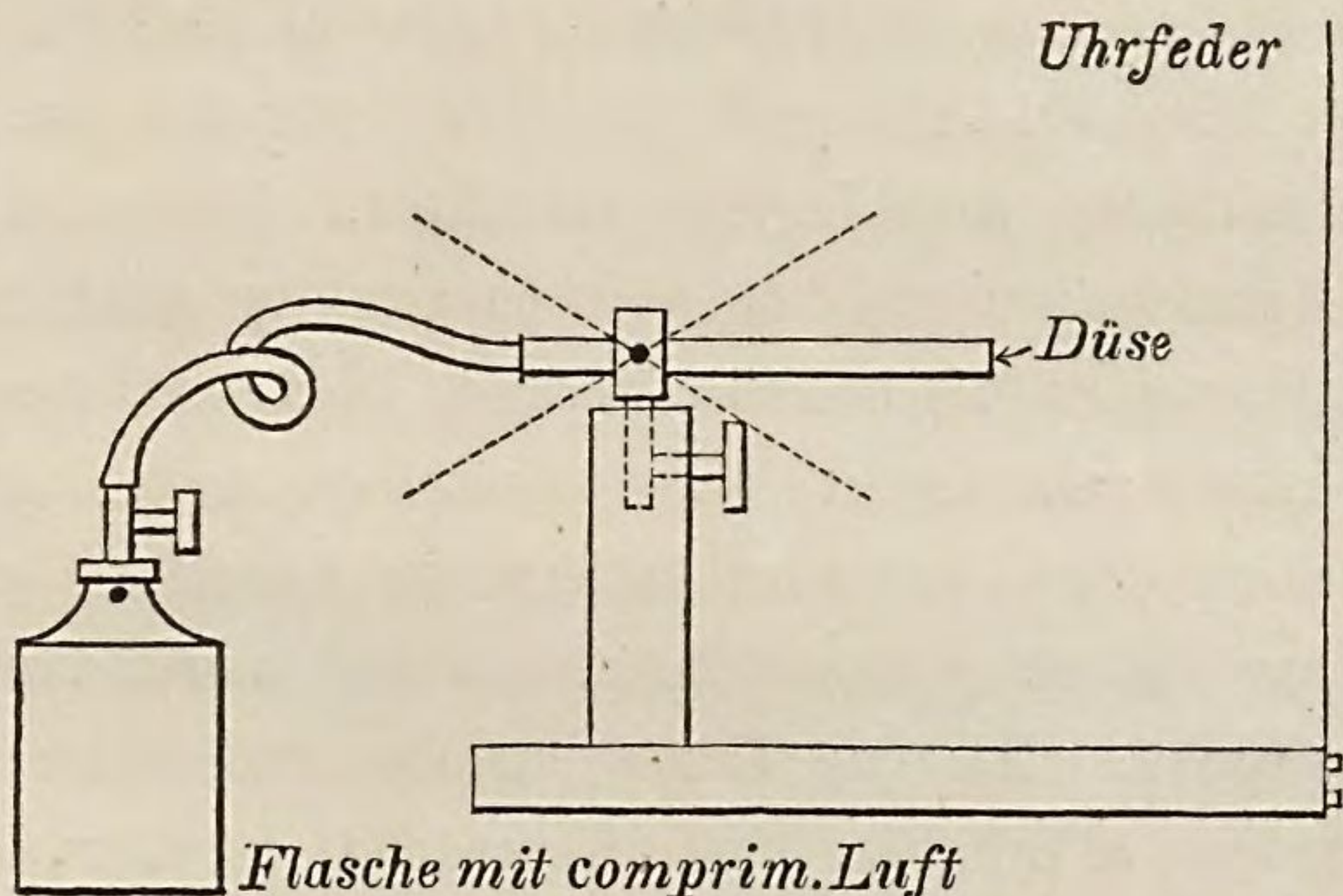


Fig. 36.

Jetzt will ich denselben Luftstrahl benutzen, anstatt ihn aber so zu lenken, dass er fortwährend gegen die Feder drückt, nur mit abwechselnd grösserer oder geringerer Kraft, will ich ihn nunmehr quer gegen die Feder bewegen, sodass er nur eine ganz kurze Zeit auf dieselbe wirken kann, und dass sie in den Zwischenpausen, sich selbst überlassen, frei schwingen kann. [Versuch.] Dann ist, wie Sie sehen, die Geschwindigkeit hundert mal so gross, wie vorher, obwohl der gesammte Betrag des von mir an-

gewendeten Druckes, wenn ich denselben für eine Sekunde summiere, nicht ganz so gross ist, wie vorhin; und doch bekomme ich bedeutend mehr Geschwindigkeit, als vorher, wo ich einen undulatorischen Strom anwendete. Wenn ich diese Analogie auf die Elektrizität anwende, so kann ich sagen: ich bin im Stande, wenn ich ein elektrisches System habe, welches zu Schwingungen fähig ist, einen weit stärkeren Strom zu erzeugen, indem ich das System frei schwingen lasse, als wenn ich dem System einen allmählig anwachsenden und abnehmenden Strom mittheile*).

Als Beispiel hierfür will ich Ihnen mit der oscillatorischen Entladung einen Versuch vorführen. Diese oscillatorischen Entladungen bei hohen Spannungen sind in den letzten Jahren so oft benutzt worden, dass ich voraussetze, die meisten von Ihnen haben dieselben schon gesehen. Andererseits sind es sehr belehrende Versuche, und es kostet nur ein paar Augenblicke, um die Anordnungen dafür zu treffen. Ich will Ihnen nur das Aufleuchten einer Röhre zeigen (Fig. 37). In diesem Saal ist der Versuch sehr schön zum ersten Male vor einigen Jahren von Herrn Nicola Tesla aus Amerika vorgeführt worden, und seitdem geht derselbe unter seinem Namen. Die Schwingungen gehen durch meinen Körper hindurch und vermögen die Röhre zum Leuchten zu bringen. [Versuch]. Jetzt sehen Sie die Röhre durch die meinen Körper durchsetzenden Schwingungen aufleuchten, und die Schwingungen machen sich kenntlich an den Unterbrechungen der Lichtsäule. Die Röhre leuchtet

*) Wenn nämlich die Schwingungsperioden des Stromes und des Systems nicht zusammen passen; andernfalls tritt die vorher besprochene Resonanz ein. D. Übers.

nur, wenn die Entladung im Gange ist, und Sie vermögen daran die oscillatorische Natur der Entladung zu erkennen.

Versuch von Lord Armstrong.

Ich bin jetzt am Ende der Versuche angelangt, welche zur Erläuterung der von mir behandelten Gegenstände dienen sollten; ich glaube aber sicher zu sein, dass diejenigen von Ihnen, welche diesen Vorträgen aufmerksam gefolgt sind und die bewundernswerthen Anordnungen ge-

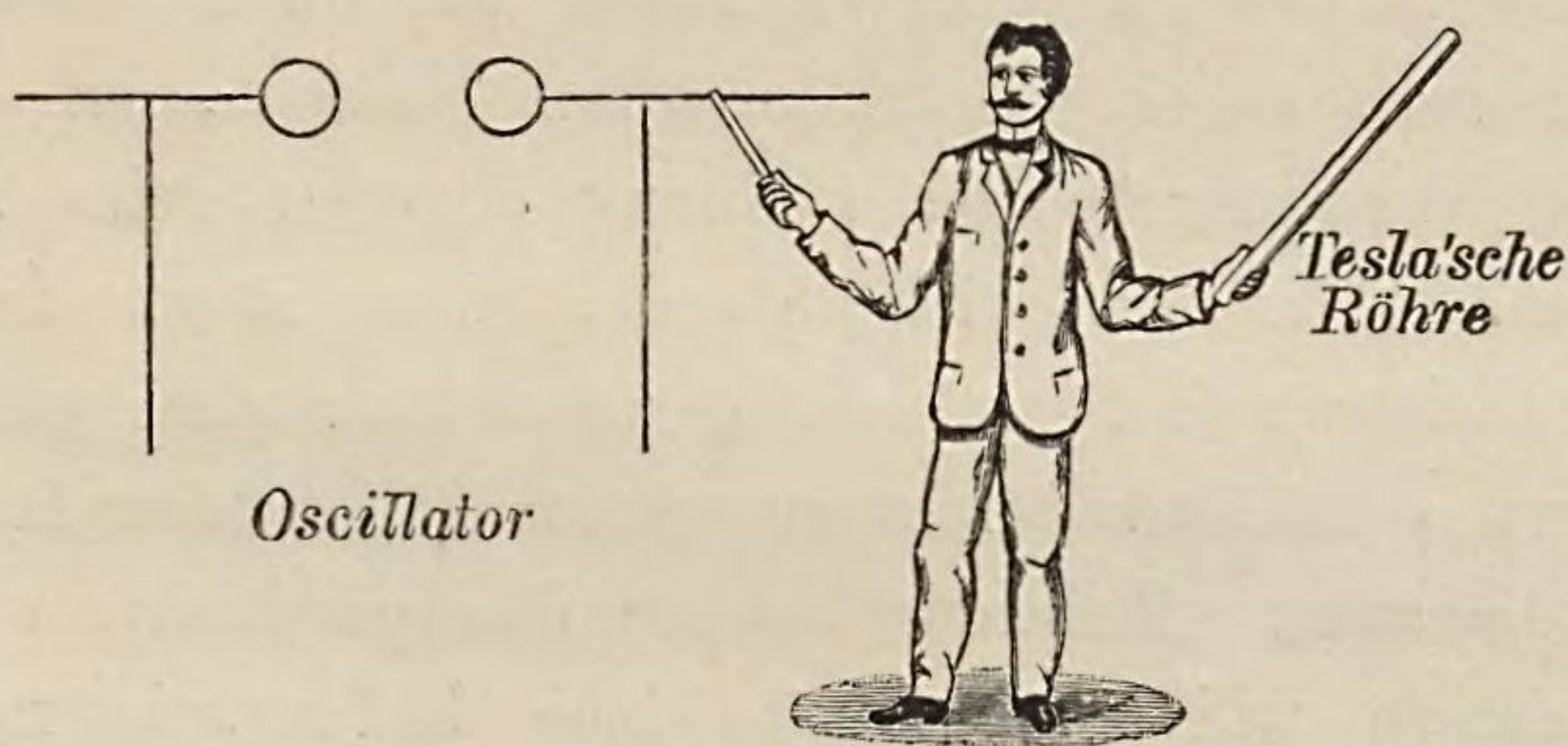


Fig. 37.

sehen haben, welche Herr Campbell Swinton getroffen hat, sich nicht enttäuscht sehen werden, wenn ich Ihnen, unter Benutzung desselben Apparates, noch einen anderen Versuch vorführe, wenn derselbe auch mit dem eigentlichen Gegenstand der Vorträge nicht zusammenhängt. Der Versuch ist sehr bemerkenswerth; er rührt ursprünglich von Lord Armstrong her. Dieser kam darauf zuerst beim Gebrauch einer Hydro-Elektro-Maschine, mit welcher er starke Ströme von hoher Spannung mittels eines Dampfstrahls er-

zeugte. Bei der Anordnung, welche ich Ihnen vorführen will, bekomme ich die hohe elektromotorische Kraft, oder vielmehr hat Herr Campbell Swinton dieselbe erhalten, mit Hülfe einer Induktionsspule und unter Anwendung eines unterbrochenen Gleichstromes in der letzteren. In den meisten der Versuche, welche ich Ihnen früher vorgeführt habe, haben wir einen Wechselstrom benutzt, weil wir, wenn wir einen Gleichstrom benutzt hätten, denselben nicht rasch genug hätten unterbrechen können. Jetzt werden wir aber einen Gleichstrom benutzen. Von den Versuchen her, welche ich Ihnen früher vorgeführt habe, wissen Sie, dass, wenn wir im primären Draht den Strom schliessen, im secundären ein Induktionsstrom besteht, ein ebensolcher von umgekehrter Richtung dagegen beim Unterbrechen. Wir sind im Stande, den Strom in der einen Richtung fast vollständig zu unterdrücken und uns so einen secundären Strom zu verschaffen, welcher fast nur noch die andere Richtung besitzt; dies geschieht, wie ich hervorheben will, mit Hülfe eines Luftzwischenraumes, welchen der Strom zu überspringen hat, und welcher weit genug genommen wird, um den Übergang des Schliessungsstromes zu verhindern, aber nicht zu weit, um den Durchgang des Öffnungsstromes zu hindern. Thatsächlich ist dies ein Versuch mit Gleichströmen, nicht ein solcher mit Wechselströmen oder unterbrochenen Strömen.

Bei diesem Versuch erscheint der Apparat (Fig. 38) in dem auf dem Schirm entworfenen Bilde nicht umgekehrt, sondern in derselben Stellung, wie er vor der Lampe auf dem Tisch steht. Ich habe hier in einem quadratischen Glastrog ein kugelförmiges Glasgefäss, an beiden Enden

offen, mit einem Stück Baumwolldocht, welches aus der halsförmigen unteren Öffnung der Kugel herausragt. Der Docht liegt jetzt zusammengerollt in der Kugel, und nur ein kurzes Ende davon ragt in die Flüssigkeit unten herein. Der Hochspannungsstrom wird dem Wasser aussen von einem Pol zugeführt, während der andere Pol im Wasser innerhalb der Kugel sich befindet. Je nachdem ich den Strom in der einen oder anderen Richtung hindurchgehen lasse, werden Sie sehen, wie der Baumwolldocht sich aus der Kugel herausschiebt, oder wieder in dieselbe hineingezogen

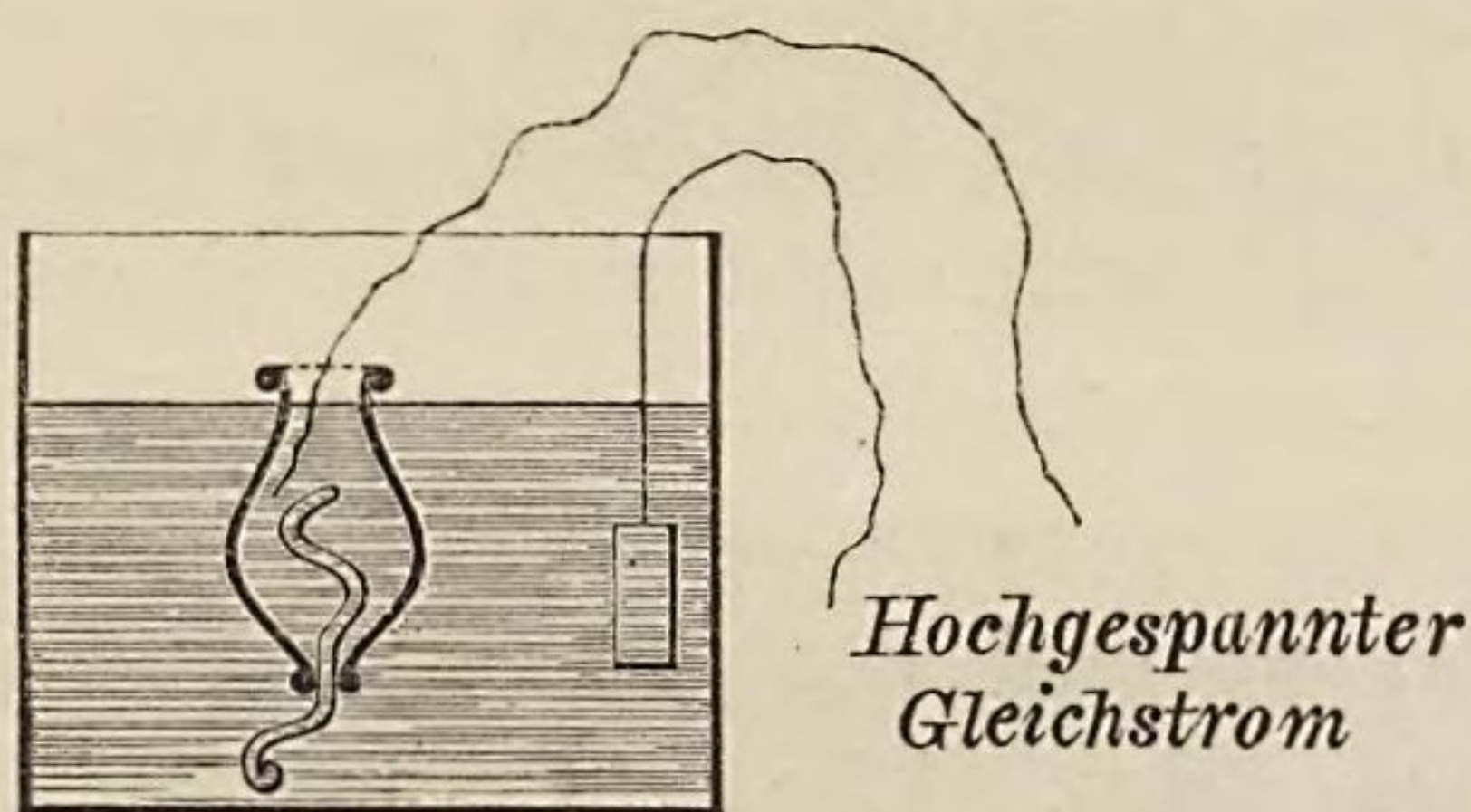


Fig. 38.

wird; bei diesem Vorgang ist besonders bemerkenswerth, dass, während der Docht sich in der einen Richtung bewegt, das Wasser entgegengesetzt sich bewegt. An der Projektion auf dem Schirm werden Sie die Richtung, in welcher das Wasser sich bewegt, selbst beobachten können. Um diesen Versuch ausführen zu können, ist das reinste destillierte Wasser erforderlich, und wir werden, vorausgesetzt es geht alles gut, die beschriebenen Bewegungen leicht sehen können.

Ich darf hinzufügen, dass Lord Armstrong diesen Versuch

nur ein paar von seinen Freunden gezeigt hat, und Herr Campbell Swinton hat ihn mir und einigen anderen Herren vorgeführt; sicher haben nur wenig Leute denselben gesehen. Zur Erklärung kann ich nur bemerken, dass es sich wahrscheinlich um dieselbe Erscheinung handelt, wie bei der elektrischen Endosmose. Wenn Sie ein Gefäß mit Flüssigkeit mit einer Scheidewand aus porösem Material haben, wobei die Polenden einer Batterie in die beiden Abtheilungen eingetaucht sind, so besteht eine Wirkung, welche die Flüssigkeit durch die Scheidewand hindurch zu treiben bestrebt ist; dabei handelt es sich wahrscheinlich um eine Wechselwirkung zwischen dem porösen Material und dem Wasser. Vielleicht tritt bei diesem Versuch dieselbe Wirkung in Thätigkeit; es ist zwischen diesem Docht und dem Wasser aussen eine Wechselwirkung thätig, und diese gegenseitige Wirkung veranlasst, dass der Docht nach unten gezogen wird, während das Wasser nach oben getrieben wird, und umgekehrt. [Versuch]. Jetzt werden Sie bemerken, dass das Wasser in der Kugel steigt, und der Docht unten herauskommt. Wir wollen den Strom umkehren, und alsbald werden Sie sehen, dass die Wirkung in der umgekehrten Richtung eintritt, und dass der Docht nach oben steigt, während das Wasser unten austritt.

Verlag von **Quandt & Händel** in Leipzig.

Zu beziehen durch alle Buchhandlungen.

Elemente des Magnetismus und der Elektrizität.

Insbesondere für angehende Elektrotechniker.

Von

Andr. Jamieson,

Professor d. Ingenieurwissenschaften am techn. Colleg zu Glasgow.

Uebersetzt und durch Zusätze vermehrt

von

Dr. J. Kollert,

Lehrer der Physik an den techn. Staatslehranstalten
in Chemnitz.

Mit 330 Figuren im Text und 1 lith. Tafel.

Preis 8 M. 40 Pf.

„Das Buch ist an erster Stelle für den Unterricht an technischen Schulen bestimmt. Demgemäss ist den praktischen Anwendungen der experimentellen Thatsachen besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Die (vom Uebersetzer beigefügten) Ergänzungsvorlesungen tragen dazu bei, das Buch zu einem wirklich wissenschaftlichen Hilfsmittel für den angehenden Elektrotechniker zu machen und erhöhen seinen Werth auch für denjenigen, der sich aus anderem als rein techn. Interesse mit dem behandelten Gebiete vertraut machen will.“

Zeitschr. f. d. physik. u. chem. Unterricht.

„Das Buch ist ganz aus dem Bedürfnisse des praktischen Unterrichts hervorgegangen und deshalb als Grundlage für den Unterricht vorzüglich geeignet. Sehr dankenswerth sind die umfangreichen Zusätze von Kollert (dem Uebersetzer), welche, über den ursprünglichen Rahmen des Buches hinausgehend, eine elementare Darstellung des absoluten Maasssystems und der Theorie der magnetischen und elektrischen Messmethoden geben.“

Naturwiss. Rundschau.

Verlag von **Quandt & Händel** in Leipzig.

Dimensionen und absolute Maasse

der physikalischen Grössen. Zugleich als Uebungsbuch im C-G-S-System. Von Professor A. Czóglér, Lehrer an der kgl. Oberrealschule in Szegedin. 3 M. 60 Pf.

Anleitung zur Spectralanalyse.

Von Dr. C. Gänge, Docent an der Universität Jena. Mit 30 Textfiguren und 2 Tabellen. 2 M.

Die Polarisation des Lichtes.

Kurze Darstellung ihrer Lehre und Anwendungen. Von Dr. C. Gänge. Mit 29 Textfiguren. 1 M. 80 Pf.

Einführung in das physikalische Praktikum.

Von R. T. Glazebrook und W. N. Shaw, Demonstratoren der Physik am Cavendish-Laboratorium in Cambridge. Deutsch herausgegeben von W. Schloesser, techn. Hilfsarbeiter bei der kaiserl. Normal-Aichungs-Commission in Berlin. Mit 86 Textfiguren. 7 M. 50 Pf.

Jahrbuch der Erfindungen

und Fortschritte auf den Gebieten der Physik, Chemie und chemischen Technologie, der Astronomie und Meteorologie. Begründet von Dr. H. Gretschel und Dr. H. Hirzel, bearbeitet von A. Berberich, Dr. G. Bornemann und Dr. O. Müller. 31. Jahrgang. 1895. Mit 18 Textfiguren. 6 M.

Lehrbuch der Physik.

Einschliesslich der Physik des Himmels, der Luft und der Erde. Gemäss der neueren Anschauung und mit den neuesten Fortschritten. Für Gymnasien, Realschulen und ähnliche Lehranstalten. Von Professor Dr. Paul Reis. 8. verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 442 Textfiguren und 850 Aufgaben nebst Lösungen. 9 M.

Physikalische Demonstrationen.

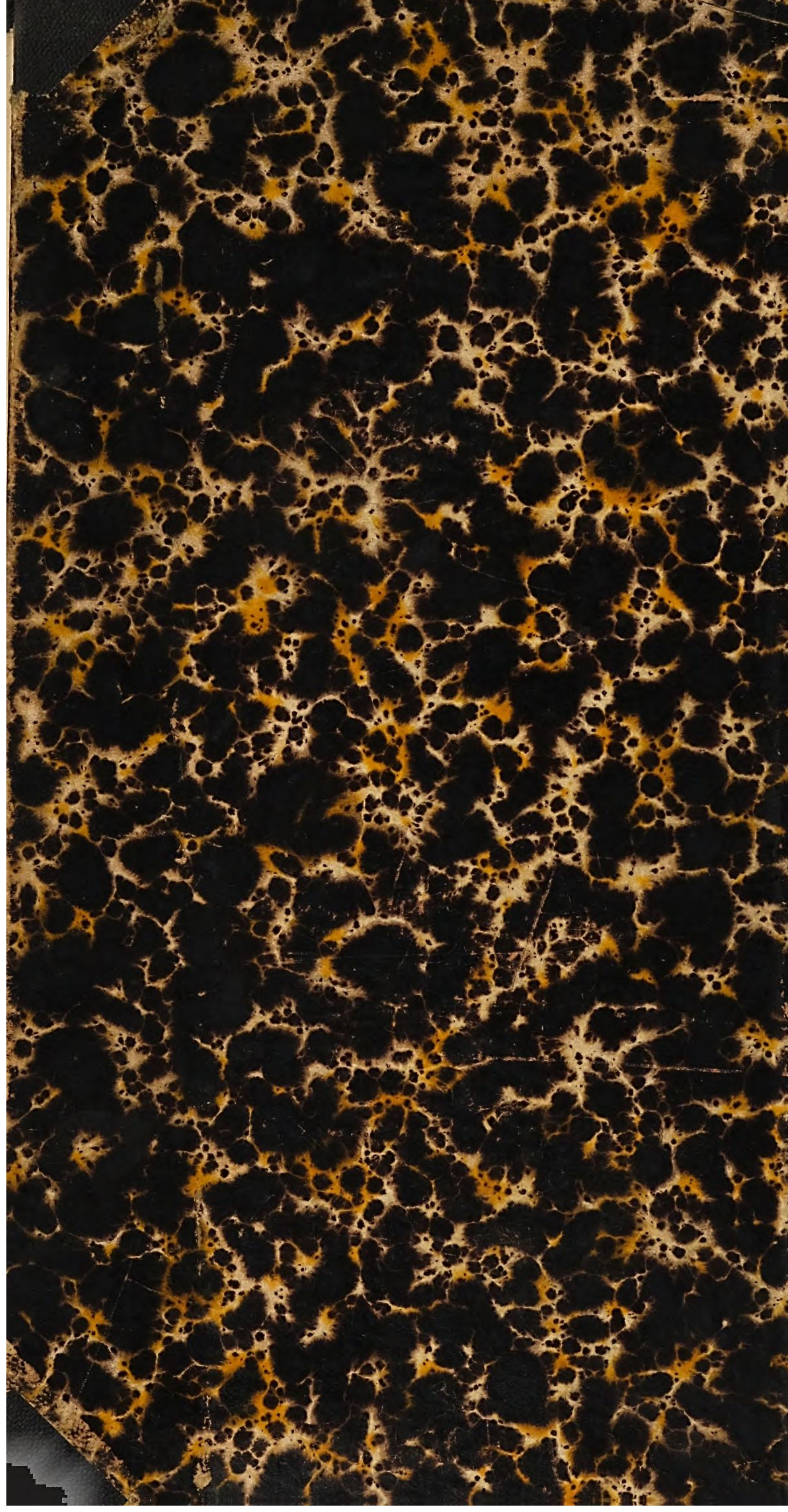
Anleitung zum Experimentiren im Unterricht an Gymnasien, Realgymnasien, Realschulen und Gewerbeschulen. Von Dr. Ad. F. Weinhold, Professor an den technischen Staatslehranstalten in Chemnitz. 2. verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 517 Textfiguren und 4 lith. Tafeln.

22 M. 50 Pf.; gebd. 24 M. 75 Pf.

LEIPZIG.

Druck von Grimme & Trömel.

Bögl



Forbes, George

Elektrische Wechselströme und Unterbrochene Ströme nach drei in der Royal
Institution zu London gehaltenen Vorträgen

Leipzig 1896

Phys.sp. 222 sd

urn:nbn:de:bvb:12-bsb11822253-4